

Vierintämelun vähentäminen

VIEME-tutkimus- ja kehittämishankkeen loppuraportti





Tekijät Heikki Tervahattu (toim.) Nordic Envicon Oy		Julkaisun laji Loppuraportti	
ja tutkimusryhmä		Toimeksiantaja Liikenne- ja viestintäministeriö	
		Toimielimen asettamispäivämäärä 1.10.2005	
Julkaisun nimi Vierintämelun vähentäminen. VIEME-tutkimus- ja kehittämishankkeen loppuraportti			
Tiivistelmä Vierintämelun tutkimus- ja kehittämishankkeessa (VIEME-projektissa) tutkittiin tiepäällysteiden ja renkaiden aiheuttamaa melua ja sen leviämistä. Projektissa tutkittiin myös mahdollisuutta alentaa melutasoja ja melulle altistumisen vähentämistä ilman, että pölyongelmat lisääntyvät ja/tai liikenneturvallisuus heikkenee. Hiljaisten päällysteiden käytön lisääminen on tämän tutkimuksen pohjalta perusteltavissa, koska (1) liikennemelu alenee sekä kadulla että lähiympäristössä, (2) uudella suomalaisella teknologialla osataan valmistaa maamme oloihin soveltuvia ja hyvin kestäviä hiljaisia päällysteitä, (3) hiljaiset päällysteet ovat hyviä myös katupölyongelman kannalta, sillä tasaisemman pinnan vuoksi niiden katupölyn määrä on pienempi kuin tavallisten päällysteiden ja (4) myös liikenneturvallisuuden kannalta hiljaiset päällysteet ovat hyviä, koska niiden kitkaominaisuudet ovat normaalia paremmat. Projektissa tutkittiin myös päällysteen valmistamiseen käytettävien kivien geologisia ominaisuuksia, jotka ovat erittäin tärkeitä hiljaisten päällysteiden kulumiskestävyyden kannalta. Renkaiden meluvaikutuksen tutkimus osoitti, että Suomessa suuri kysymys on nastarenkaiden käyttö, koska uusien nastarenkaiden vierintämelu ja melu tien lähialueella on jopa 8–9 dB suurempi kuin kitkarenkaiden. Nastojen ikääntyminen tosin pienentää tätä eroa huomattavasti. Koska hiljainen päällyste ei vähennä lainkaan nastarengasmelua ja koska nastarenkaiden osuus henkilöautoissa on noin 80 prosenttia, on Suomessa puolet vuodesta sellaista aikaa, jolloin hiljaisten päällysteiden meluhyöty on vähäinen. Toisaalta kitkarenkaat osoittautuivat kevätpölykaudella nastarenkaita haitallisemmiksi sen vuoksi, että ne nostavat ns. imukuppiefektin vaikutuksesta kadun pinnalla olevaa pölyä paljon enemmän ilmaan kuin nastarenkaat. Talvikaudella sen sijaan nastarenkaat kuluttavat tien pintaa ja tuottavat pölyä enemmän kuin kitkarenkaat. Meluvaimennus korkeilla melusteilla oli lähietäisyydellä (10–20 metriä) melkein 20 dB ja kauempana (noin 40 m) 15–20 dB. Meluidan todettiin suojaavan välittömästi aidan takana sijaitsevalla kevyen liikenteen väylällä liikkuvia myös katupölyltä.			
Avainsanat (asiasanat) Vierintämelu, katupöly, hiljaiset päällysteet, hiljaiset renkaat			
Muut tiedot Yhteyshenkilö/LVM: Risto Saari			
Sarjan nimi ja numero Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 4/2008		ISSN 1457-7488 (painotuote) 1795-4045 (verkkojulkaisu)	ISBN 978-952-201-682-9 (painotuote) 978-952-201-683-6 (verkkojulkaisu)
Sivumäärä (painotuote) 98	Kieli suomi	Hinta	Luottamuksellisuus julkinen
Jakaja ja kustantaja Liikenne- ja viestintäministeriö			



Författare Heikki Tervahattu (red.) Nordic Envicon Oy		Typ av publikation Projekt rapport	
och andra forskare		Uppdragsgivare Kommunikationsministeriet	
		Datum för tillsättandet av organet 1.10.2005	
Publikation Minskning av buller och rulljud från vägtrafiken			
Referat <p>VIEME-projektet (studie i buller och rulljud) inleddes för att öka kunskapen om olika slag av vägbeläggning och bildäck i relation till buller och bullerspridning. Projektet hade som målsättning att studera möjligheten att dels sänka bullernivån i allmänhet och dels minska antalet människor som utsätts för trafikbuller, dock utan att öka dammproblemen eller äventyra trafiksäkerheten.</p> <p>Enligt undersökningen är det befogat att öka användandet av tyst vägbeläggning eftersom (1) trafikbullret minskar både på gatan och i närmiljön, (2) vi med dagens finländska teknologi kan bygga hållbara vägar med tyst beläggning som lämpar sig för våra klimatförhållanden, (3) tyst beläggning lämpar sig bra med tanke på dammproblemet då den jämnare ytan alstrar mindre damm och (4) den tysta beläggningen har bättre friktionsegenskaper än den konventionella beläggningen och därför lämpar sig bra med tanke på trafiksäkerheten. Projektgruppen undersökte även stenmaterialets mineralogiska egenskaper som är en mycket viktig faktor i anknytning till den tysta beläggningens slitstyrka.</p> <p>Bullerstudien visade att den stora frågan i finska förhållanden är dubbdäcken, eftersom de nya dubbdäckens rulljud och trafikbuller i vägbanans närområde enligt mätningar är upp till 8-9 dB högre än friktionsdäckens. Här bör man dock beakta att bullernivåns skillnad blir betydligt mindre när dubbarna slits. En tyst beläggning minskar inte alls dubbdäckens buller och då man samtidigt beaktar att cirka 80 procent av bilarna i Finland körs med dubbdäck och att de är i bruk halva året, kan man konstatera att den nytta med en tyst vägbeläggningen är mycket begränsad.</p> <p>Friktionsdäcken visade sig vara mer skadliga än dubbdäck då det dammar på våren eftersom friktionsdäck skapar en sugkoppseffekt som lyfter upp mycket mer damm än dubbdäcken. Under vintern sliter dubbdäcken beläggningen och lyfter upp mer damm än friktionsdäcken.</p> <p>Höga bullerskydd minskade bullret på kort avstånd (10-20 meter) med knappt 20 dB och på längre avstånd cirka 40 m) med 15-20 dB. Undersökningen visade att bullerskyddet även skyddade personer på andra sidan skyddet, på promenad- och cykelvägen för vägdamm.</p>			
Nyckelord rulljud, buller, gatudamm, tyst beläggning, däck, trafiksäkerhet			
Övriga uppgifter Kontaktperson vid kommunikationsministeriet är Risto Saari.			
Seriens namn och nummer Kommunikationsministeriets publikationer 4/2008		ISSN 1457-7488 (trycksak) 1795-4045 (nätpublikation)	ISBN 978-952-201-682-9 (trycksak) 978-952-201-683-6 (nätpublikation)
Sidoantal (trycksak) 98	Språk finska	Pris	Sekretessgrad offentlig
Distribution och förlag Kommunikationsministeriet			



Authors Heikki Tervahattu (ed.) Nordic Envicon Oy		Type of publication Final report	
and research team		Assigned by Ministry of Transport and Communications	
		Date when body appointed 1 October 2005	
Name of the publication Reduction of rolling noise. Final report (VIEME)			
<p>Abstract</p> <p>The aim of the rolling noise reduction project VIEME is to gather data on noise abatement in road transport in order to reduce noise levels and exposure to noise without increasing dust problems or decreasing traffic safety. The project examines noise and dust from road surfaces and tyres, including their dispersion. It also aims to generate new data on the correlation between generation and dispersion of noise and dust.</p> <p>Increasing use of low-noise pavements is well justified, because (1) such pavements decrease traffic noise both on the streets and in residential areas, (2) new Finnish technology can produce durable, low-noise pavements that are suitable for northern conditions, (3) due to their even surface, road dust emissions from silent pavements are lower than from reference pavements, and (4) friction qualities of low-noise pavements are better than those of conventional pavements, which improves traffic safety. It is important to use high-quality rock aggregates for the production of low-noise pavements to ensure their good properties.</p> <p>In terms of rolling noise, studded tyres are problematic in Finland because their noise emissions may be even 8-9 dB greater than emissions from friction tyres. The difference is, however, considerably smaller with older tyres. Since 80% of Finnish passenger cars have studded tyres during the wintertime, and rolling noise of studded tyres cannot be decreased by low-noise pavements, for half the year low-noise pavements seem almost useless in decreasing traffic noise.</p> <p>Friction tyres, on the other hand, turned out to be more harmful in the spring because they raise more PM10-dust into the atmosphere than studded tyres. The difference is due to a "suction cup" effect. But studded tyres wear the road surface much more thus generating more inhalable dust.</p> <p>High noise barriers reduced noise levels by almost 20 dB near the barrier (10-20 meters) and by 15-20 dB farther away (40 m). A noise barrier gave some shelter against road dust to pedestrians and cyclists behind the barrier.</p>			
Keywords Rolling noise, road dust, low-noise surfaces, tyres, traffic safety			
Miscellaneous Contact person at the Ministry: Mr Risto Saari			
Serial name and number Publications of the Ministry of Transport and Communications 4/2008		ISSN 1457-7488 (printed version) 1795-4045 (electronic version)	ISBN 978-952-201-682-9 (printed version) 978-952-201-683-6 (electronic version)
Pages, total (printed version) 98	Language Finnish	Price	Confidence status Public
Distributed and published by Ministry of Transport and Communications			

Esipuhe

Ympäristöministeriön asettama työryhmä esitti huhtikuussa 2004 ehdotuksensa meluntorjunnan valtakunnallisista linjauksista ja toimintaohjelmasta (Ympäristöministeriö, Suomen ympäristö 696/2004). Ohjelman pohjalta hyväksyttiin toukokuussa 2006 valtioneuvoston periaatepäättös meluntorjunnasta. Toimintaohjelmassa sekä sen perusteella toukokuussa 2006 hyväksytyssä valtioneuvoston periaatepäätöksessä tavoitteeksi asetettiin ympäristömelulle altistumisen vähentäminen kustannustehokkaalla tavalla. Tie- ja katuliikenteen melu on ylivoimaisesti suurin ympäristömelun lähde. Hiljaisten päällysteiden ja hiljaisten renkaiden käytön edistämisen katsottiin osaltaan olevan entistä keskeisemmällä sijalla, kun tie- ja katuliikenteen melulle altistumista pyritään vähentämään kustannustehokkaalla tavalla. Toimintaohjelmassa kuitenkin edellytettiin, että hiljaisten päällysteiden käytön lisääminen ei saa johtaa ympäristö- ja liikenneturvallisuushaittojen kasvuun.

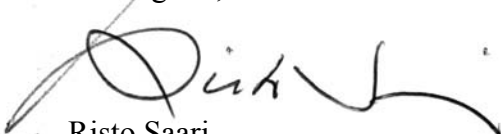
Liikenne- ja viestintäministeriön aloitteesta päätettiin elokuussa 2005 käynnistää tutkimus- ja kehityshanke, joka osaltaan edistäisi toimintaohjelmassa ja valtioneuvoston periaatepäätöksessä esitettyjen tavoitteiden saavuttamista. Tutkimushankkeelle asetettiin tavoitteeksi tuottaa tietoa hiljaisista päällysteistä ja renkaista sekä niiden mahdollisuuksista vähentää melua ilman, että ilmanlaatu ja liikenneturvallisuus heikkenevät. Tutkimustehtävää hoitamaan valittiin laaja tutkijaryhmä, jonka projektipäällikkönä on toiminut filosofian tohtori Heikki Tervahattu Nordic Envicon Oy:sta.

Tutkimusryhmään on kuulunut laajalti melun, ilmanlaadun ja päällysteiden asiantuntijoita Nordic Envicon Oy:sta, Teknillisestä korkeakoulusta, Akukon Oy:ltä, Stadialta, Ilmatieteen laitokselta, Geologian tutkimuskeskuksesta (ks. tarkemmin luku 2).

Liikenne- ja viestintäministeriön lisäksi hanketta ovat rahoittaneet Tiehallinto, Destia, Nokian Renkaat Oy, Tikka Nasta Oy, Lohja Rudus Oy, Skanska Oy sekä Helsingin, Vantaan ja Espoon kaupungit. Tutkimushanketta on ohjannut ohjausryhmä, jossa mukana ovat olleet rahoittajatahojen sekä ympäristöministeriön, Ajoneuvohallintokeskuksen, TEKESin ja Ilmatieteen laitoksen edustajat.

VIEME -tutkimus- ja kehittämishanke on tuottanut uutta ja käytännönläheistä tietoa päätöksenteon tueksi hiljaisten päällysteiden ja erilaisten renkaiden melu-, pöly- ja kitkaominaisuuksista sekä hiljaisten päällysteiden valmistukseen käytettyjen kiviainesten ominaisuuksista. Kiitos hyvin tehdystä työstä tutkimuksen toteutuksesta vastanneille tutkijoille ja tutkimus- ja kehittämishanketta ohjanneille asiantuntijoille.

Helsingissä, 9. tammikuuta 2008



Risto Saari
Ohjausryhmän puheenjohtaja

Vierintämelun vähentäminen

Vieme-tutkimus- ja kehittämisprojektin loppuraportti

Sisällys

Loppuraportti. Yleinen osa	1
Hiljaisten päällysteiden ja eri rengastyyppeiden vaikutus vierintämeluun	13
Melun leviäminen: hiljaisten päällysteiden, rengastyyppeiden ja melusteiden vaikutus	23
Hiljaisten päällysteiden ja eri rengastyyppeiden pölyominaisuudet	45
Kiviainesten raekoon, muodon ja geologisten ominaisuuksien vaikutus hiljaisten asfalttien kulumiseen	57
Hiljaisten päällysteiden kitkaominaisuudet	71
Melusteiden vaikutus pölyn leviämiseen	79

Vierintämelun vähentäminen

Tutkimus- ja kehittämisprojekti VIEME

Loppuraportti

YLEINEN OSA

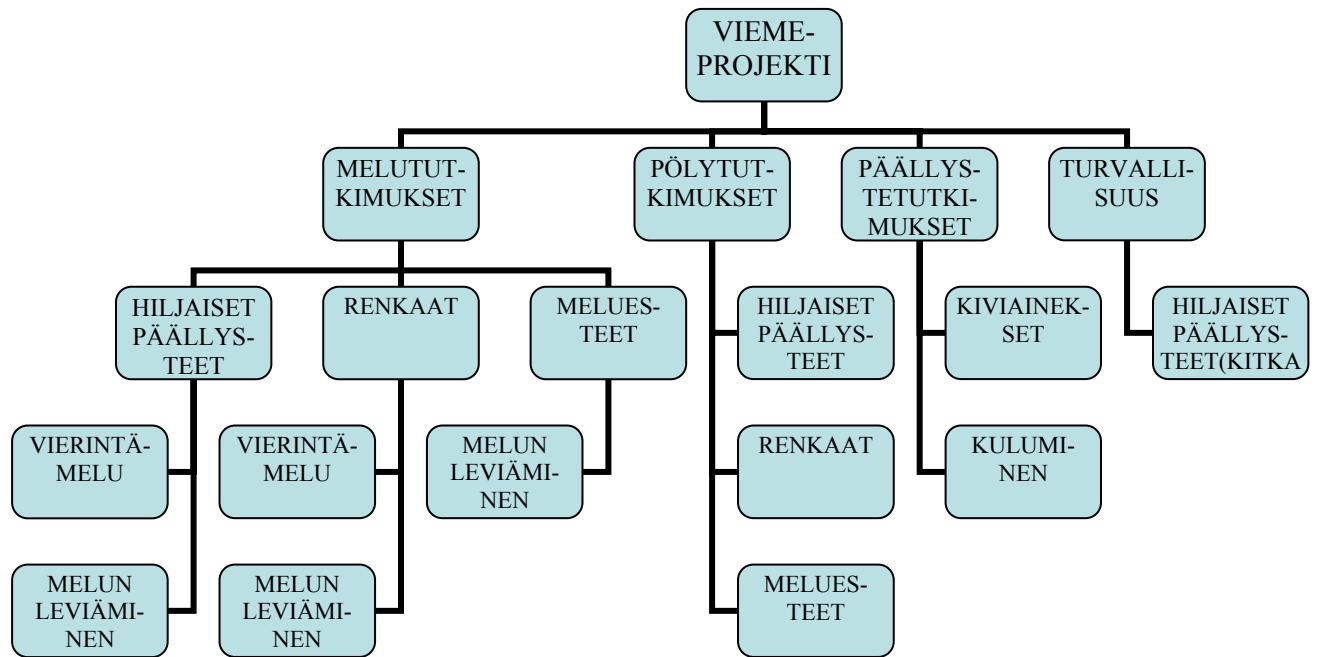
SISÄLLYSLUETTELO

1 Projektin tavoite ja perussisältö	1
2 Projektin käynnistäminen ja organisaatio	3
3 Melu ja pöly liikenteen ympäristöongelmina	3
3.1 Liikennemelun haitat kasvavat	3
3.2 Meluntorjunnan tavoitteita ja ohjelmia	5
3.3 Ilman hiukkaset toinen suuri liikenteen ympäristöongelma	6
3.4 Haasteita tutkimukselle ja tuotekehitykselle	6
4 Tutkimuksen toteutus	7
VIEME-PROJEKTIN YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	8
Viitteet	11

1 PROJEKTIN TAVOITE JA PERUSSISÄLTÖ

Liikenne- ja viestintäministeriö asetti tutkimussopimuksessa vierintämelututkimus- ja kehittämishankkeen (VIEME-projektin) tavoitteeksi tutkia tiepäällysteiden ja renkaiden aiheuttamaa melua ja sen leviämistä. Hankkeen tavoitteena on ollut tutkia mahdollisuutta alentaa melutasoja ja melulle altistumisen vähentämistä ilman, että pölyongelmat lisääntyvät ja/tai liikenneturvallisuus heikkenee. Asetettujen tavoitteiden mukaisesti hankkeessa on tutkittu melun ja pölyn muodostusta ja leviämistä samanaikaisesti ja samoissa kohteissa, jotta voidaan tuottaa uutta tietoa näiden kahden ongelman keskinäisyydestä ja niiden muodostamasta kokonaisuudesta.

Alla olevaan kaavioon on koottu VIEME-projektissa tehdyt eri sektoreiden tutkimukset.



Näiden tutkimusten tulokset on koottu tähän raporttiin, joka koostuu seuraavista osista:

1. **Yleinen osa** (*Heikki Tervahattu ja Risto Saari*)
2. **Hiljaisten päällysteiden ja eri rengastyypin vaikutus vierintämeluun** (*Panu Sainio*)
3. **Melun leviäminen: hiljaisten päällysteiden, rengastyypin ja melusteiden vaikutus** (*Tapio Lahti ja Jarno Kokkonen*)
4. **Hiljaisten päällysteiden ja eri rengastyypin pölyominaisuudet** (*Heikki Tervahattu, Kaarle Kupiainen, Ana Stojiljkovic, Liisa Pirjola, Pasi Perhoniemi, Panu Sainio*)
5. **Kiviainesten ominaisuuksien vaikutus hiljaisten päällysteiden kulumiseen** (*Akseli Torppa ja Mika Räisänen*)
6. **Hiljaisten päällysteiden kitkaominaisuudet** (*Heikki Tervahattu, Ana Stojiljkovic ja Panu Sainio*)
7. **Melusteiden vaikutus pölyn leviämiseen** (*Liisa Pirjola, Leena Kangas, Mia Pohjola, Ari Karppinen*)
8. **Hiljaisten päällysteiden ja melusteiden kustannus-hyöty -vertailu** (*Paul Eronen ja Panu Sainio*) – ei sisälly tähän raporttiin

2 PROJEKTIN KÄYNNISTÄMINEN JA ORGANISAATIO

VIEME-projektin käynnistettiin liikenne- ja viestintäministeriön aloitteesta kesällä 2005. Liikenne- ja viestintäministeriö järjesti 22.8.2005 keskustelutilaisuuden, jonka yhteydessä esiteltiin alustava hankesuunnitelma. Hankesuunnitelmaa täydennettiin viiteryhmiä kommenttien pohjalta ja ensimmäiset melun ja pölyn mittaukset tehtiin lokakuussa 2005. Lisäksi päätettiin tehdä esiselvitys, joka valmistui helmikuussa 2006. Esiselvitys on painettu liikenne- ja viestintäministeriön julkaisusarjassa (LVM:n julkaisu 12/2006; www.mintc.fi/julkaisusarja, 2006).

Projektille muodostettiin ohjausryhmä, jonka puheenjohtajana on toiminut Risto Saari liikenne- ja viestintäministeriöstä. Ohjausryhmän jäseninä (ja varajäseninä) ovat olleet Sirkka-Liisa Paikkala (Tarja Lahtinen) ympäristöministeriöstä, Tuula Säämänen (Kari Lehtonen) Tiehallinnosta, Raimo Ledentsä (Nina Raitanen) Destiasta (Tieliikelaitoksesta), Niko Karvosenoja Suomen ympäristökeskuksesta, Juhani Intosalmi Ajoneuvohallintokeskusta, Osmo Rasimus (Mika Lautanala) Tekesistä, Heikki Jämsä INFRA 2010-ohjelmasta, Pekka Isoniemi Helsingin kaupungista, Sirkka Manni-Loukkola, (Eila Suojala ja Jenni Saarelainen) Espoon kaupungista, Pirjo Suni Vantaan kaupungista, Marjatta Malkki (Päivi Aarnio) Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnasta (YTV), Ari Karppinen Ilmatieteen laitokselta, Hanna Järvenpää (Pasi Niskanen) Lohja Rudus Oy:stä, Teppo Huovila (Mikko Liukkula) Nokian Renkaat Oy:stä, Kari Kosonen Tikka Group Oy:stä ja Heikki Keinonen Skanska Oy:stä.

Projektin tutkimusryhmään kuuluivat Heikki Tervahattu ja Kaarle Kupiainen Nordic Envicon Oy:stä, Leena Kangas Ilmatieteen laitokselta, Tapio Lahti Akukon Oy:stä, Liisa Pirjola Helsingin ammattikorkeakoulu Stadiasta, Mika Räisänen Geologisesta tutkimuskeskuksesta ja Panu Sainio Teknillisestä korkeakoulusta. Projektin johdosta ja koordinaatiosta vastasi Nordic Envicon Oy ja koordinaatioryhmä, jossa on edustus kaikista tutkimusryhmistä. Projektipäällikkönä toimi Heikki Tervahattu.

Hankkeen päärahoittaja on ollut liikenne- ja viestintäministeriö ja hanketta rahoittivat lisäksi Tiehallinto, Destia (Tieliikelaitos), Nokian Renkaat Oyj, Skanska Oy, Lohja Rudus Oy, Tikka Group Oy, Helsingin kaupunki, Espoon kaupunki, Vantaan kaupunki. YTV on antanut maksutta projektin käyttöön mittausdataa ja asiantuntijatyövoimaa.

Projektin väliraportti valmistui lokakuussa 2006. Se julkaistiin projektin [www-sivustolla](http://www.sivustolla) (Tervahattu ym., 2006).

3 MELU JA PÖLY LIIKENTEEN YMPÄRISTÖONGELMINA

3.1 Liikennemelun haitat kasvavat

Euroopan komission tulevaisuuden melupolitiikkaa koskevassa Vihreässä kirjassa (1996) on todettu, että samaan aikaan kun valitukset muista ympäristöongelmista ovat EU:n tasolla kääntyneet laskuun, ympäristömelua koskevat valitukset ovat jatkuvasti lisääntyneet. Euroopan unionin alueella (EU15, uudet jäsenvaltiot puuttuvat) arvioidaan 80 miljoonan ihmisen altistuvan liian voimakkaalle melulle, joka aiheuttaa unihäiriöitä ja/tai muita terveyshaittoja (Research for a Quieter Europe in 2020, 2004; Goetzke, 2005). Lisäksi 170 miljoonaa ihmistä asuu ”harmailla vyöhykkeillä”, joilla melusta aiheutuu vakavaa haittaa.

Noin 120 miljoonaa ihmistä eli 30 prosenttia väestöstä altistuu tieliikenteen melulle, joka päiväaikana ylittää 55 dB:n melutason.

Melusta koituvat yhteiskunnalliset kustannukset arvioidaan kohoavan 0,2-2 prosenttiin bruttokansantuotteesta ja olevan alimmankin arvion mukaan yli 12 miljardia euroa vuodessa. Uudet jäsenmaat kohottavat merkittävästi tätä summaa. Suomen osalta on arvioitu ympäristömelun, lähinnä liikennemelun aiheuttamien yhteiskuntataloudellisten kustannusten olevan 250-700 miljoonaa euroa vuodessa (Ympäristöministeriö, 2004).

Suomessa asuu 800 000 – 900 000 ihmistä alueilla, joissa päiväajan ympäristömelu on yli 55 dB (Liikonen ja Leppänen, 2005). Se on noin 17 % Suomen asukkaista. Heistä noin 90 % (750 000) altistuu tie- ja katuliikenteen melulle. Vuonna 2005 tehty arvio taajamien katuliikenteen melulle altistuvien määrästä vuonna 2003 on edelliseen vuonna 1998 tehtyyn arvioon verrattuna pienempi. Ero johtuu lähinnä arviointimenetelmien eroista. Taajamien melutilanne ei siis ole parantunut, vaan todennäköisesti heikentynyt, mihin viittaa esimerkiksi Helsingin kaupungin kesäkuussa 2007 esittämä EU:lle laadittu meluselvitys.

Erityisesti taajamissa ja vilkkaiden pääteiden varsilla altistutaan lähes ympäri vuorokauden tie- ja katuliikenteen melulle. Vaikka pahimmissa kohteissa on meluntorjuntatoimia tehty, tie- ja katuliikennemelulle altistuvien määrä on edelleen kasvanut. Esimerkiksi Espoossa melualueilla asuvien ihmisten määrä on kasvanut 1990-luvulla lähes 70 %. Meluallistuksen kasvu taajamissa on pääosin johtunut tie- ja katuliikenteen määrän sekä ajonopeuksien kasvusta.

EY:n ympäristömeludirektiivin (2002/49/EY) eräänä keskeisenä tavoitteena on parantaa melutilanteen seuranta kansallisesti niin, että jäsenvaltioiden tiedot olisivat vertailukelpoisia. Ympäristömeludirektiivi on kansallisesti saatettu voimaan ympäristönsuojelulakiin (86/2000) tehdyillä muutoksilla (25a ja 25b §) sekä valtioneuvoston asetuksella (801/2004) Euroopan yhteisön edellyttämistä meluselvityksistä ja meluntorjunnan toimintasuunnitelmista. Meluselvitykset oli laadittava yli 250 000 asukkaan taajamista, tieliikenteen pääväylistä, joilla kulkee vuosittain yli 6 milj. ajoneuvoa, rautatieliikenteen pääväylistä, joilla kulkee yli 60 000 junaa sekä lentoasemilta, joissa on yli 50 000 lentotapahtumaa.

Kesäkuussa 2007 Helsingin kaupunki, Tiehallinto, Ratahallintokeskus ja Finavia antoivat Euroopan komissiolle ja Euroopan ympäristökeskukselle ensimmäiset meluselvitykset. Helsingin kaupungille meluselvityksen laati Insinööritoimisto Akukon Oy (Lahti ym., 2007). Selvityksen mukaan yli puolet (237 500 asukasta 560 905:stä) Helsingin kaupungin asukkaista altistuu liikennemelulle, jonka vuorokausimelutaso L_{den} on yli 55 dB. Arvioidut asukasmäärät olivat aiemmin luultua suuremmat. Tämäkin viittaa siihen, että liikennemelulle altistuvien määrä on todennäköisesti kasvanut 1998 tilannekartoitukseen verrattuna.

Meluntorjuntatyön ensisijaisena tavoitteena on vähentää melupäästöjä jo lähteessä. Ajoneuvojen moottorien ja renkaiden sekä muiden laitteiden melupäästöjä on säännelty EY:n asettamilla melupäästöjen raja-arvoilla. Vaikka samat tekijät lisäävät liikenteen aiheuttamaa ilman saastumista, on samaan aikaan kuitenkin pystytty liikenneperäistä ilman saastumista vähentämään pakokaasupäästöjen osalta. Myös ajoneuvojen moottorin melua on rajoitettu, vaikkakaan ajoneuvojen moottorimelua koskevia EY:n tyyppihyväksyntämääräyksiä ei ole tiukennettu vuoden 1996 jälkeen. EY:n rengasmeludirektiivi (2001/43/EY) ei ole olennaisesti

vähentänyt rengasmelua, koska direktiivillä lähtökohtaisesti hyväksyttiin renkaiden tyyppihyväksyntämääräykset rengasmelun osalta.

Euroopan komissio on käynnistänyt konsultaation rengasmeludirektiivin uudistamiseksi niin, että samanaikaisesti vähennettäisiin olennaisesti rengasmelua, parannettaisiin vierintävastusta ja tehostettaisiin renkaiden energiatehokkuutta. Renkaan ja tien kosketuksesta syntyvän vierintämelun suhteen ei siten ole tapahtunut olennaista edistystä, vaikka juuri se on henkilöautoilla huomattavasti moottorimelua suurempi nopeuden noustessa yli 40 km/t.

Kansallisia keinoja melupäästöjen alentamisessa ovat erityisesti vierintämelua vähentävät hiljaiset päällysteet ja renkaat. Panostaminen tierakenteisiin on tärkeää etenkin tiiviissä kaupunkirakenteessa, jossa ei ole riittävästi tilaa torjua katuliikenteen melua perinteisten esteratkaisujen avulla. Kulttuurimaisemaan sekä loma-asutus- ja luonnonalueille hiljaiset päällysteet ovat maiseman säilymisen kannalta usein onnistuneempi ratkaisu kuin meluesteiden rakentaminen.

Arviot melun vähentämisen mahdollisuuksista vaihtelevat. TØI:n (Transportøkonomisk institutt - Amundsen ja Klæboe, 2005) arvion mukaan nykyteknologialla voitaisiin 5 vuoden kuluessa vähentää melua moottoriteknisillä ratkaisuilla 1-2 dB(A), renkailla 2-3 dB(A), nopeusrajoituksilla 2-3 dB(A) ja tiepäällysteillä 2-4 dB(A) (kts. myös Research for a Quieter Europe, 2004). 10-15 vuoden kuluessa vastaavat vähennysmahdollisuudet olisivat: moottorilla 3-4 dB(A), renkailla 3-5 dB(A) ja tiepäällysteillä 6-8 dB(A) (nopeusrajoituksilla ei lisämahdollisuuksia). Koeolosuhteissa päästään huomattavasti suurempiinkin vähennyksiin. Suomessa voisi nastarenkaiden korvaaminen kitkarenkailla tuoda merkittävää lisäpotentiaalia.

3.2 Meluntorjunnan tavoitteita ja ohjelmia

Ympäristöministeriö asetti 2002 työryhmän valmistelemaan valtakunnallista meluntorjunnan toimintaohjelmaa, joka valmistui huhtikuussa 2004. Työryhmä esitti 33 toimenpidettä, joista 10 asetettiin etusijalle sillä perusteella, että niillä voidaan vaikuttaa ympäristömelutilanteeseen riittävän laajasti ja tehokkaasti ja ne voidaan toteuttaa kansallisesti ja paikallisesti (Ympäristöministeriö, 2004). Näiden tärkeimpien toimenpiteiden joukkoon kuuluu hiljaisten tiemateriaalien ja renkaiden käytön edistäminen ja laajentaminen. Tarkoitus on, että niiden käyttö ei vaaranna liikenneturvallisuutta, taajamien ilmanlaatua tai pohjavesien suojelua.

Ympäristöministeriön työryhmän esitysten perusteella hyväksyttiin valtioneuvoston periaatepäätös toukokuussa 2006. Siinä asetettiin tavoitteeksi melulle altistumisen vähentämisen siten, että vuoteen 2020 mennessä päiväajan keskiäänitason yli 55 desibelin melualueilla asuvien määrä on vähintään 20 prosenttia pienempi kuin vuonna 2003.

Liikenne- ja viestintäministeriö on ottanut meluntorjunnan kehittämistä koskevan työryhmän esitykset liikenne- ja viestintäministeriön ympäristöohjelman lähtökohdiksi melun ja tärinän hallinnan osalta (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2005). Ministeriön ympäristöohjelmassa on asetettu tavoitteeksi, että vuonna 2020 päiväajan yli 55 dB:n melualueilla ($L_{Aeq7-22}$) asuvien ihmisten määrä on vähintään 20 % pienempi kuin vuonna 2003. Yleisten teiden yli 55 dB melualueilla asuvien määrän tulisi olla noin 15 % pienempi kuin vuonna 2003, jotta kokonaistavoite saavuttaisiin. Vuoteen 2010 mennessä tämä edellyttäisi, että noin 60 000 asukkaan osalta olisi liikennemelulle altistumista kyettävä vähentämään alle 55 dB ($L_{Aeq7-22}$).

Valtioneuvoston periaatepäätöksessä meluntorjunnasta (toukokuu 2006) esitettiin, että meluntorjuntahankkeiden rahoituksen turvaamiseksi valmisteltaisiin meluntorjuntahankkeista teemapaketteja. Liikenne- ja viestintäministeriö asetti elokuussa 2006 työryhmän valmistelemaan tie- ja rautatieliikenteen meluntorjunnan teemapakettia. Työryhmä sai esityksensä tie- ja rautatieliikenteen meluntorjunnan teemapaketista valmiiksi toukokuussa 2007 (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2007). Teemapaketti kattaa vuodet 2008-2012 ja sen toteutus edellyttäisi noin 92 milj. euron rahoitusta. Maantieliikenteen 77 meluntorjuntahankkeen rahoitukseen tarvittaisiin 72 milj. euroa ja rautatieliikenteen 9 hankkeeseen 20 milj. euroa.

Teemapaketin toteutuksella saataisiin 25 360 asukkaan melutilanteeseen sellainen parannus, että asukkaat eivät asuisi enää yli 55 dB:n melualueella. Vuosina 2013-2020 tie- ja rautatieliikenteen meluntorjunnan rahoituksen pitäisi säilyä noin 10 milj. euron vuotuisella tasolla, vaikka tämäkään rahoitustaso ei välttämättä riittäisi valtioneuvoston periaatepäätöksessä ja liikenne- ja viestintäministeriön ympäristöohjelmassa asetettujen tavoitteiden saavuttamiseen.

3.3 Ilman hiukkaset toinen suuri liikenteen ympäristöongelma

Meluntorjunnan toimintaohjelmaan sisältyvässä vaikutusarviossa (Ympäristöministeriö, 2004) tarkasteltiin erilaisten meluntorjuntavaihtoehtojen vaikutusta myös ilmanlaatuun. Vaikutusarviossa todettiin, että hiljaisten päällysteiden kasvu todennäköisesti lisäisi paikallisesti hieman myös hiukkaspäästöjä ja hiljaisten päällysteiden laajamittainen käyttö voisi lisätä hiukkaspäästöjä merkittävästi. Tällä arvioitiin olevan vaikutusta taajamien ilmanlaatuun. Vaikutusarviossa myös todettiin, että melusteiden laajamittainen rakentaminen mahdollistaisi asuntojen rakentamisen lähemmäksi suuria liikenneväyliä, mikä voi lisätä altistumista tieliikenteen päästöille enemmän kuin muissa vaihtoehdoissa. Melusteiden ja renkaiden tuotekehittelyn avulla voidaan pyrkiä pienentämään hiukkaspäästöjen kasvua.

Toistaiseksi hiljaisten päällysteiden vaikutuksia ilmanlaatuun ei ole tutkittu. On oletettu, että mikäli tällaiset päällysteet kuluvat muita päällysteitä nopeammin, niistä muodostuu myös enemmän katupölyä. Ei kuitenkaan ole selvillä, minkä verran kyseinen pöly sisältää ns. hengitettäviä hiukkasia (aerodynaaminen halkaisija $<10\ \mu\text{m}$). Tämä hiukkaskoko (PM_{10}) on lähtökohtana myös EY:n ilmanlaatudirektiivissä, joka on saatettu Suomessa voimaan valtioneuvoston asetuksella (711/2001). Asetuksen raja-arvotaso ($50\ \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{vrk}$) ylittyy yleisesti pääkaupunkiseudulla ja muissa Suomen kaupungeissa. Varsinainen raja-arvon ylitys edellyttää vuodessa em. tason ylittävän 35 vuorokautena. Näitä ylityksiä esiintyy pahimmilla alueilla. Vaikeita pölyongelmia on sellaisillakin katuosuuksilla, joilla on tarvetta rakentaa hiljaisia päällysteitä. Katupölyn määrää pitää siten vähentää eikä ole mahdollista ottaa käyttöön päällysteitä, joista tulee enemmän hiukkasia. Oleellista on käyttää päällysteitä, jotka kuluvat vähän ja aiheuttavat silloin myös vähän pölypäästöjä.

3.4 Haasteita tutkimukselle ja tuotekehitykselle

Hiljaisten päällysteiden tuotekehittelyssä on tapahtunut merkittävää edistystä, mikä on tehnyt niistä realistisen päällystevaihtoehdon. Tässä teknologiakehitystyössä panostetaan melun vähentämisen lisäksi päällysteiden kestävyys- ja parempaan kustannustehokkuuteen.

Tällainen tuotekehittely tarvitsee tuekseen tutkimusta, jossa tuotteiden ympäristövaikutuksista saadaan luotettavaa tietoa.

Sama koskee hiljaisten renkaiden kehittämistyötä. Seuraavilla renkaan ominaisuuksilla on vaikutusta melun voimakkuuteen:

- Renkaan leveys
- Kovuus (kova on meluisampi)
- Renkaan kuviointi
- Urasyvyys (suurempi urasyvyys lisää melua)
- Nastat lisäävät melua
-

Rengasleveys on kasvanut 15 viime vuoden aikana noin 2 mm/vuosi. Leveyden lisääntyessä 10 mm kasvaa melutaso 0,2-0,4 dBA. Eri rengastyypeillä saattaa olla jopa 10 dBA:n ero melutasossa (Amundsen ja Klæboe, 2005). Nastat voivat vielä tuntuvasti suurentaa eroja. EY:n rengasmeludirektiivi (2001/43/EY) asettaa vuoteen 2011 ulottuvat säädökset sellaiselle tasolle, etteivät ne edellytä kehitystyötä. Esimerkiksi Saksassa vuonna 2002 testattiin 82 rengastyyppiä ja kaikki täyttivät nämä melutasovaatimukset.

Kansallisesti tärkeä kysymys on, miten voitaisiin vähentää erityisesti nastarenkaiden aiheuttamaa rengasmelua. Uudessa ruotsalaisessa tutkimuksessa (Kropp ym., 2007) kiinnitetään paljon huomiota nastarenkaisiin, joiden haittavaikutuksiin luetaan rengasmelun lisäksi tien pinnan nopeammasta kulumisesta aiheutuva suurempi meluisuus sekä hiljaisten päällysteiden nopeampi kuluminen.

4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Projektissa tutkittiin alla lueteltuja päällysteitä, joista lisätietoja ja kartta ovat liitteessä 1.

- I. Konalantie Helsinki, hiljainen päällyste
- II. Konalantie Helsinki, edellisen referenssi
- III. Kolkekannaksentie Espoo, hiljainen päällyste
- IV. Lippajärventie Espoo, edellisen referenssi
- V. Mt 132 1/0 - 1/3780 Klaukkala, hiljainen päällyste
- VI. Mt 132 Klaukkala, edellisen referenssi
- VII. Mt 132 4/4171 - 5/1804, Röykkä, hiljainen päällyste
- VIII. Mt 132 Röykkä, edellisen referenssi
- IX. Riihiniityntie Espoo, hiljainen päällyste
- X. Riihiniityntie Espoo, edellisen referenssi
- XI. Pirjontie-Pirkkolantie Helsinki, hiljainen päällyste; valmistui elokuussa 2006; sitä edeltävällä päällysteellä tehtiin myös tutkimuksia
- XII. Pirkkolantie Helsinki, edellisen referenssi

Rengastutkimuksissa käytettiin seuraavia Nokian Renkaiden renkaita:

- kesärenkas: Nokian Z 235/60 ZR 16 104 W X
- kitkarenkas: Nokian Hakkapeliitta Rsi 235/60 R16 104 R XL M+S
- nastarenkas: Nokian Hakkapeliitta 4 235/60 R16 100 T M+S

Täydentäviä melun ja pölyemission tutkimuksia tehtiin muillakin renkailla, joiden tiedot on annettu näiden tutkimusten tulosten yhteydessä.

Tutkimuksen eri osa-alueet raportoidaan erikseen ja niissä selostetaan tarkemmin kunkin työn toteutusta.

VIEME-PROJEKTIN YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä raportissa käytetään yleisnimeä "hiljainen päällyste", millä tarkoitetaan yleensä niitä päällysteitä, joita projektissa on tutkittu. Tutkittujen kohteiden päällystevalmistajilla on erilaisilla resepteillä tehtyjä päällysteitä, joiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan. Yksi Suomen tunnetuimmista tuotenimistä on Destian HILTTI, jonka kehitysversioita edustavat koekohteet Riihiniityntie, Klaukkala, Röykkä ja Pirkkolantie. Konalantie oli Valtatien tuote ja Kolkekannaksentie Lemminkäisen tuote. Tarkempia tietoja tutkituista päällysteistä on esitetty liitteessä 1.

Projektin kuluessa tehtiin se yleishavainto, että eri valmistajien erilaisista ja eri-ikäisistä päällysteistä saatiin jokseenkin kaikissa tutkimuksissa samanlaiset tulokset, vaikka pieniä eroja tietysti esiintyi. Tämä osoittaa, että tutkimustulokset ovat varsin hyvin yleistettävissä Suomessa käytettyjen hiljaisten päällysteiden osalta.

Alla esiteltävien tulosten lisäksi projektissa laadittiin esiselvitys ja sen yhteydessä ns. Feasibility Study. Siinä todettiin, että tieliikenteen melu- ja pölyongelmia on tarpeen tarkastella ekoindikaattoreina, joille tulee laatia ekotehokkuuden mittarit. Tutkimalla hiljaisten päällysteiden melu- ja pölyominaisuuksien muuttumista niiden vanhetessa voidaan selvittää näiden ekoindikaattoreiden elinkaari vaikutusta. Yhdistämällä tähän elinkaaritalouden tarkastelu luodaan perustaa sille, että ekoindikaattorit ovat niille kuuluvalla painoarvolla mukana tieliikenteen ratkaisussa.

Projektissa tehtiin myös vertaileva selvitys hiljaisten päällysteiden ja melusteiden välillä. Sen tulokset esiteltiin ohjausryhmälle ja ovat nähtävinä projektin www-sivustolla (<http://www.nordicenvicon.fi/data/hue446gs/>), mutta ne eivät sisälly tähän julkaisuun.

Projektin tuloksia arvioitaessa on tarpeen huomioida, että hankkeessa pyrittiin tehtävän laaja-alaiseen selvittämiseen. Resurssien puutteen vuoksi jouduttiin joillakin sektoreilla tyytymään varsin pieniin aineistoihin tai rajallisiin tutkimusjärjestelyihin.

Tutkimusten keskeiset tulokset ja johtopäätökset ovat seuraavat:

1. Hiljaiset päällysteet ja vierintämelu

- 1.1. Hiljaiset päällysteet olivat noin 3 dB vertailupäällysteisiä hiljaisempia.
- 1.2. Hiljaisen päällysteen alhaisempi melutaso säilyi Riihiniityntiellä koko 5-vuotisen tarkkailujakson ajan.
- 1.3. Kaikkien päällysteiden melutaso oli korkeimmillaan talven jälkeen nastojen ja muun tien pinnan kulumisen aiheuttaman karheuden vuoksi. Mitattu melutaso laski koko kevään ja alkukesän ajan. Voimakkainta lasku oli heti keväällä talvisen karheuden sileässä.

2. Hiljaiset päällysteet ja melun leviäminen

- 2.1. Melun ohiajomittauksissa hiljaiset päällysteet olivat n. 2–4 dB hiljaisempia kuin vertailupäällysteet. Hiljaisin oli Pirkkolantien tuore päällyste.

- 2.2. Pirkkolan uusi hiljainen päällyste oli talven jälkeen nastarenkailla yhtä meluisa kuin tavallinen, kesällä kesärenkailla hiljainen jälleen selvästi alhaisempi kuin referenssi, syksyksi meluisuus lisääntyy uudelleen.

3. Melusteiden vaikutus melun leviämiseen

- 3.1. Meluvaimennus korkeilla esteillä (7,5-8 m) oli lähietäisyydellä (10-20 metriä) melkein 20 dB ja kauempana (noin 40 m) 15-20 dB.
- 3.2. Matalilla esteillä mitattu (1-4 m) ja laskettu vaimennus olivat lähellä toisiaan, kun taas korkeilla esteillä mitattu vaimennus oli pienempi. Mitatun ja lasketun vaimennuksen ero korkeiden esteiden takana johtuu osittain siitä, että äänitaso esteen takana on pieni, jolloin mittaustulos epävarma.

4. Hiljaisten päällysteiden pölyominaisuudet

- 4.1. Hiljaisten päällysteiden pölypäästöt olivat alempia kuin vertailupäällysteiden. Tämä johtunee siitä, että ne pinnaltaan tasaisempina "varastoivat" vähemmän pölyä.
- 4.2. Hiljaisten päällysteiden avulla voidaan siten jonkin verran vähentää katupölyongelmaa. Vantaalla SMA11-päällysteistä saadut tutkimustulokset ja kokemukset antavat viitteitä melua ja pölymäärää alentavista vaikutuksista.

5. Kiviainesten ominaisuuksien vaikutus hiljaisten päällysteiden kulumiseen

- 5.1. Kiven geologisten ominaisuuksien vaikutus tulee korostuneesti esille hienorakeisilla (4/8 mm) kiviaineslajitteilla.
- 5.2. Pienikiteisten (< 1 mm) kivilajien muoto-ominaisuuksiin kiinnitettävä huomiota hienorakeisia lajitteita käytettäessä.
- 5.3. Mikrokiteiset vulkaniitit ovat parhaita mineraalirakeiden kokojakauman ja kiven sisäisten rakenteiden johdosta.
- 5.4. Pienirakeisissa lajitteissa tulisi käyttää vulkaniitteja.

6. Hiljaisten päällysteiden kuluminen

- 6.1. Riihiniityntien kaksi hiljaista päällystettä olivat kuluneet viiden vuoden aikana selvästi vähemmän kuin referenssipäällysteet. Oikeista raaka-aineista ja hyvin tehty hiljainen päällyste on kestänyt hyvin.

7. Hiljaisten päällysteiden kitkaominaisuudet

- 7.1. Hiljainen päällyste tarjoaa kaikissa tutkituissa olosuhteissa paremman kitkan kuin perinteinen päällyste. Hiljaisilla päällysteillä kitka-arvot vaihtelivat selvästi enemmän kuin vertailupäällysteillä.
- 7.2. Hiljaisen päällysteen tarjoama turvallisuuslisä korostuu huonossa kelissä tarjoten jopa viidenneksen enemmän kitkaa eli 20 % lyhyemmän pysähtymismatkan.
- 7.3. Tutkimustuloksia on kuitenkin toistaiseksi vain vähän, joten tarvitaan runsaasti lisämittauksia erilaisissa talviolosuhteissa

8. Renkaat ja vierintämelu

- 8.1. Melutason erot hiljaisten ja vertailupäällysteiden välillä olivat suurimmat kesärenkailla.
- 8.2. Kitkarengas oli aina hiljaisiin. Kitkarengaan ja nastarengaan melutasossa oli huomattavan suuri ero (uusilla renkailla 8-9 dB) varsinkin hiljaisilla päällysteillä.
- 8.3. Talvella hiljaisella päällysteellä ei saavuteta merkittävää hyötyä, koska nastarenkailla oli hiljaisilla päällysteillä yhtä suuri melutaso kuin normaaleilla päällysteillä ja

koska nastarenkaat on selvästi yleisin rengastyyppejä Suomessa. Uuden sukupolven nastarenkaan melutaso oli hieman alhaisempi kuin VIEME-projektissa käytetyn, joten kehityspotentiaalia hiljaisempien nastarenkaiden suuntaan kuitenkin on.

- 8.4. Nastarenkaan hiljaisuus ja turvallisuus eivät ole toisiaan poissulkevia ominaisuuksia. Nastarenkaiden keskinäisessä vertailussa hiljaisuus ja turvallisuus ovat ominaisuuksia, jotka on yhdistetty nyt jo useissa renkaissa. Kuitenkaan mitään nastarengasta ei voi sanoa hiljaiseksi jos verrataan kitkarenkaisiin eli nastarengasmelun vähentämiseen tulee kiinnittää enemmän huomiota.

9. Renkaat ja melun leviäminen

- 9.1. Kesä- ja kitkarengas olivat suunnilleen yhtä meluisia ohiajomittauksissa. Uusi ”sisäänajamaton” nastarengas oli 25 metrin etäisyydellä tiestä muita renkaita 8–9 dB meluisampi. Kuitenkin keskimääräinen kulunut nastarengas vakioliikenteessä oli selvästi hiljaisempi kuin aivan uusi testiradalla.

10. Renkaiden pölyominaisuudet

- 10.1. Kesärenkaalla pölyemissio oli aina pienempi kuin kitka- ja nastarenkaalla. Likaisella kadun pinnalla kitkarenkaan pölyemissio oli suurempi kuin nastarenkaalla; ero kasvaa moninkertaiseksi hyvin likaisella pinnalla. Alhaisilla pölypitoisuuksilla nastarenkaan emissio on suurempi kuin kitkarenkaan.
- 10.2. Rengasemissio muodostuu kahdesta päätekijästä: (A) siitä tien pinnalla olevasta pölystä, jonka rengas nostattaa ilmaan (re-emissio) ja (B) renkaan aiheuttamasta tien pinnan kulumisesta (primääriemissio). Re-emissio on suurempi kitkarenkaalla. Primääriemissio on suurempi nastarenkaalla.
- 10.3. Sekä kitka- että nastarenkaalla pölyemissio pienenee noin puoleen varsin vähäisen käytön ja/tai ikääntymisen jälkeen. Myös eri rengasvalmistajien kitkarenkaiden hengitettävän pölyn emissioissa havaittiin huomattavia eroja.

11. Melusteiden vaikutus pölyn leviämiseen

- 11.1. Katupöly kulkeutui mittauksen mukaan meluvallin nostattamana n. 20-30 m päähän vallista. Samalla pitoisuudet laimentuivat noin kahteen kolmannekseen siitä, mitä ne olivat meluiden toisella puolella. Meluita näyttää suojaavan jalkakäytävällä kulkijoita katupölyltä, mutta tarvitaan runsaasti lisätutkimuksia luotettavien johtopäätösten tekemiseksi.
- 11.2. Pölyn leviämisen mallituksen tuloksena saatiin meluiden takana sijaitsevilla alueella hengityskorkeudella pienempiä pitoisuuksia kuin ilman meluita. Myös mallituksen perusteella aidan todettiin suojaavan välittömästi meluiden takana sijaitsevilla kevyen liikenteen väylällä liikkuvia. Suojaava vaikutus kasvaa aidan korkeuden noustessa.

VIITTEET

Amundsen, A., Klæboe, R., 2005. A Nordic perspective on Noise reduction at the source. Institute of Transport Economics, Norwegian Centre of Transport Research. Oslo. 45 s.

Goetzke, M., 2005. Improved understanding of noise effects. ERA-NET Transport, position paper.

Kropp, W., Kihlman, T., Forssén, J., Ivarsson, L. 2007. Reduction potential of road traffic noise. A Pilot Study. Chalmers University of Technology.
<http://www.iva.se/templates/page.aspx?id=4354>.

Lahti, T., Gouatarbès, B., Markula, T., 2007. Helsingin kaupungin meluselvitys 2007. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 6/2007.

Liikenne- ja viestintäministeriö, 2005. Liikenteen toimintalinjat ympäristökysymyksissä vuoteen 2010. LVM, Ohjelmia ja strategioita 4/2005. 41 s.

Liikenne- ja viestintäministeriö, 2007. Tie- ja rautatieliikenteen meluntorjunnan teemapaketti 2008-2012. LVM Julkaisuja 28/2007. 26 s.

Liikonen, L. ja Leppänen, P., 2005. Altistuminen ympäristömelulle Suomessa. Tilannekatsaus 2005. Ympäristöministeriö. 72 s.

Research for a Quieter Europe in 2020. An Updated Paper of the CALM Network, October 2004. European Commission, Research Directorate-General.

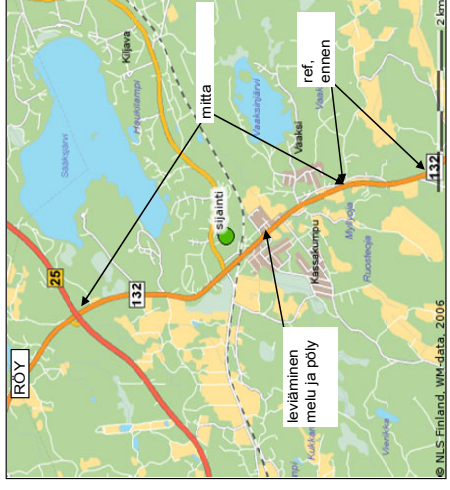
Tervahattu, H., Kupiainen, K., Sainio, P., Lahti, T., Pirjola, L., Kangas, L., Räisänen, M. 2006. Vierintämelun vähentäminen. Tutkimus- ja kehittämisprojekti VIEME. Väliraportti.
http://www.nordicenvicon.fi/data/dd09s9wa/VIEME_valiraportti.pdf

Ympäristöministeriö, 2004: Meluntorjunnan valtakunnalliset linjaukset ja toimintaohjelma. Suomen ympäristö 696.

VIEME projektin koekohteet

Tieosa/katu/paikkakunta	Tehty	Tekijä	Päällyste	pituus m	KVL	km/ h	Nuuskija	Notra	Melun leviäm.	Pölyn leviäm.	HUOM
Pirkkolantie, Helsinki	2008	Destia	HILTTI 8			50	ok	ok	ok	ok	
Pirkkolantie, Helsinki	referenssi					50	ok	ok	ok	ok	
Konalantie, Helsinki	2005	Vallatie				40	ok	ok	ok	ok	pahoja talvikunnossapito vaurioita
Konalantie, Helsinki	referenssi					40	ok	ok	ok	ei	osuuden jälkeen, huonokuntoinen
Kolkekannaksen tie, Espoo	2004	Lemminkäinen				50	ok	ei	ei	ei	
Lippalärventie, Espoo	referenssi						ok	ok	ok	ei	ei Notralia
Mt 132 1/0 - 1/3780, Klaukkala	2005	Destia	HILTTI 8	2888	16000	60	ok	ok	ok	ok	
Mt 132 Klaukkala	referenssi						ok	ok	ok	ok	Klaukkalan keskustan jälkeen
Mt 132 4/4171 - 5/1804, Röykkä	2005	Destia	HILTTI 8	3194	3200	50	ok	ok	ok	ok	
Mt 132 Röykkä	referenssi						ok	ok	ok	ok	
		HIL-JA- projektissa, eri toimijoilta	HILTTI MIX 200 ja SMA 6				valkeaa / mahdoton	ok	ei		HIL-JA-projektin jatkoaseuranta mahdollisuuksien mukaan, osa osuuksista tuhoutunut esim kaapelivetojen tähden
Riihinittyntie, Espoo, 2 kohdetta	2002				5000	50		ok	ei	ei	osuuden lopussa SMA16
Riihinittyntie, Espoo	referenssi						ok	ok	ei	ei	

Liite 1. VIEME-koekohteet



Hiljaisten päällysteiden ja eri rengastyypin vaikutus vierintämeluun



SISÄLLYSLUETTELO

1 Renkaiden ja päällysteiden erot	14
2 Nastarenkaan ominaisuuksista	15
3 Päällysteiden ikääntyminen	18
3.1 Meluominaisuuksien muuttuminen	18
3.2 Hiljaisten päällysteiden kuluminen	18
4 Johtopäätökset	20

1 RENKAIDEN JA PÄÄLLYSTEIDEN EROT

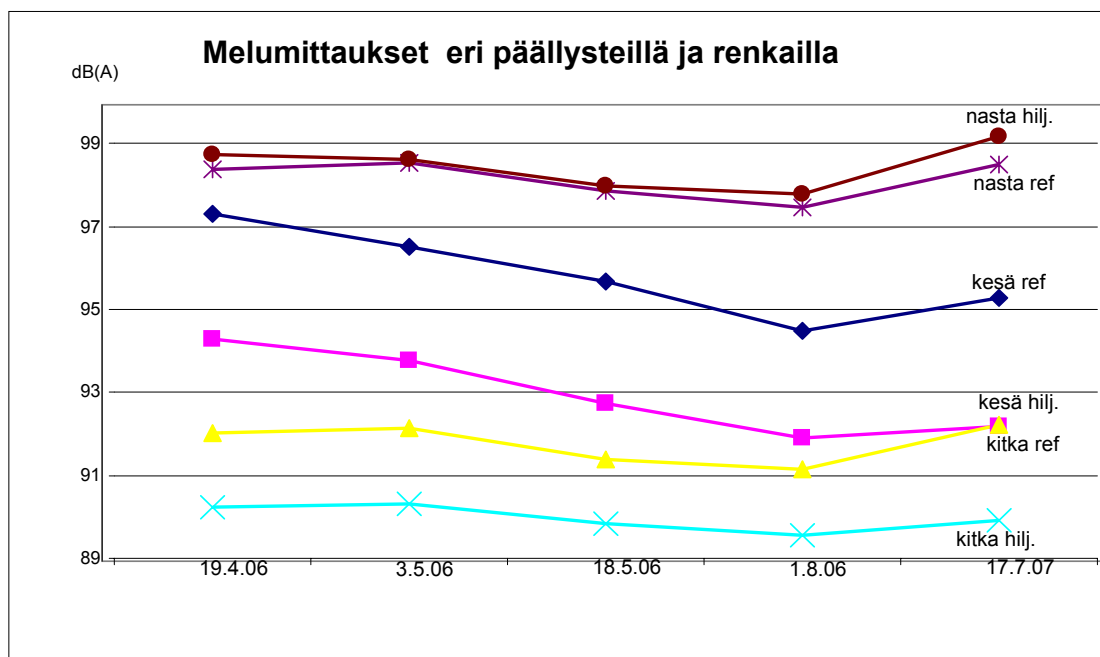
Vierintämelun päällysteitä ja renkaita koskevien tutkimusten tavoitteita, tehtäviä ja toteutusta on kuvattu raportin yleisen osan jaksossa 4. Päällysteiden vertailua varten valittiin kolme rengastyyppeä, joita tutkittiin edellä selostetuissa kohteissa. Renkaiden koko määräytyi Nuuskiija-auton kokovaatimuksen mukaan (kantavuus). Renkaat edustivat kesärengasta ja nastallista sekä nastatonta pohjoismaisiin olosuhteisiin tarkoitettua talvirengasta. Nastattomien talvirenkaiden markkinoilla on selkeästi tunnistettavissa myös nk. Keskieurooppalainen kitkarengas, joka eroaa lähinnä kovemman kumilaadun ja suorituskykyluokituksen (nopeusluokka) osalta nk. pohjoismaisesta kitkarenkaasta. Päällysteet ovat samat koekohteet kuin muissakin VIEME-projektin mittauksissa lukuun ottamatta Konalantietä. Koekohteet on lueteltu yleisen osan luvussa 4.

Kuvassa 1 on koostettuna kaikki mittaukset näillä renkailla. Kevään 2006 mittauksilla tarkasteltiin melutason alenemaa talvisen karheuden silottuessa eri päällysteillä ja erityyppisillä renkailla. Rengasmelu alenee keväällä kaikilla rengastyypeillä ja kaikilla päällystetyypeillä talvisen karheuden vähentyessä. Kuvassa hiljaisen päällysteen (silent) ja perinteisen (ref) tuloksissa on huomattava, että ne ovat usean VIEME-kohteen keskiarvoja. Kohteissa oli eroja liikenteen luonteen, nopeusrajoituksen ja liikennemäärän suhteen, mutta ne kaikki ovat mahdollisia ja luontevia kohteita hiljaiseksi tarkoitetuille päällysteille. Tulos on yleisluontoinen keskiarvo kyseisten päällystetyyppien välillä. Tavoitteena oli saada yleinen tulos eri valmistajien perinteisten ja hiljaiseksi tarkoitettujen päällysteiden välillä puuttumatta tuotekohtaisiin eroihin. Koekohteiden liikennemäärissä on eroja ja päällysteiden iät ovat yhdestä neljään vuotta tämän mittaussarjan alkaessa. Tulos on käyttökelpoinen arvio suomalaisissa olosuhteissa hiljaiseksi tarkoitettujen päällysteiden ja perinteisten päällysteiden välisistä pidemmän aikajänteen eroista meluisuuden suhteen hiljaiseksi tarkoitettujen päällysteiden luontevissa käyttökohteissa eri rengastyypeillä. Sen käytännön käyttökohteena voi esimerkiksi olla ympäristömeluselvityksissä käytettävien laskentamallien kehitystyö.

Vuoden 2007 mittaus on tehty loppukesällä ja se on luonteeltaan kontrollimittaus. Sillä on tarkasteltu hiljaisen päällysteen ominaisuuksien säilymistä talven yli useilla eri kohteilla ja eri renkailla (vertaa Riihiniityntien koekohte luvussa 3.3.3.1 usean vuoden aikana). Erot päällysteiden välillä ovat säilyneet samansuuruisina vaikka yleisessä tasossa on tapahtunut nousua. Tämä johtuu päällysteen ja renkaiden ikääntymisestä sekä yleisistä olosuhdemuutoksista kuten lämpötilasta mittausajankohtana. Kesärenkailla kuvassa 1 erot päällysteiden välillä olivat suurimmat ja erityyppiset renkaat erottuvat omina ryhminään.

Nastarengas on vaunumelumittauksessa lähes 10 dB meluisampi kuin nastaton talvirengas. Nastaton talvirengas on hiljaisen vaihtoehto johtuen mm. pehmeästä kumiseoksesta ja suuresta lamellointi asteesta. Kesärengas on nastatonta talvirengasta meluisampi mutta selkeästi nastarengasta hiljaisempi. Hiljainen päällyste ei vaikuta nastarenkaan melupäästöön, mutta sillä saavutetaan 2-3,5 dB alenema sekä kesärenkaalla, että nastattomalla talvirenkaalla. Kirjallisuudessa esiintyy tätä korkeampia lukuarvoja ja Suomessakin yksittäisten kohteiden kohdalla niitä on. Kuvan 1 tulos on usean, jo ikääntyneen päällysteen keskiarvo eli edustaa pitkällä aikavälillä Suomessa saavutettavaa alenemaa. Suomessa ei myöskään voida talvisten jäätävien olosuhteiden vuoksi käyttää sen tyyppisiä hyvin avoimia

kaksikerrosrakenteita, joilla Keski-Euroopassa saavutetaan suurimmat alenemat. Tämä on merkittävin seikka, miksi alenema on ”vain 3 dB”. Tätäkin lukuarvoa on pidettävä korkeana. Renkaiden kohdalla se on tyypillisesti hiljaisimman ja meluisimman renkaan välinen ero tai eri rengas tyyppien välinen ero.



Kuva 1. Kesärenkailla tehtyt melumittaukset hiljaisilla ja niihin liittyvillä tavallisilla päällysteillä (ref). Vuoden 2006 eli neljä ensimmäistä mittausta kuvaavat melutason muutosta talvisen karheuden silottuessa ja viimeinen kesällä 2007 tehty on kontrollimittaus.

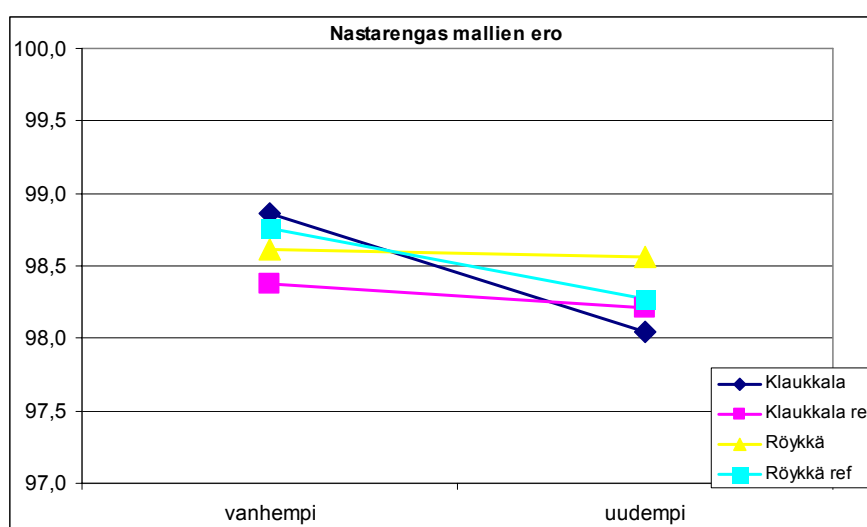
2 NASTARENKAAN MELUOMINAISUUKSISTA

Jos käytössä on nastarenkaat, niin lumettoman ja jäättömän kelin vallitessa ei hiljaisella päällysteellä saavuteta melun alenemaa. Nastarenkaalla on hiljaisella päällysteellä yhtä suuri melutaso kuin perinteisellä päällysteellä. Nastarenkaat ovat selvästi yleisin talvirengastyyppejä Suomessa. Tämä asettaa haasteita nastarenkaan kehitystyölle, koska nastamelua ei voida torjua hiljaisella päällysteellä.

VIEME-projektissa käytetystä nastarenkaasta tuli projektin aloittamisen jälkeen markkinoille uusi malli myös kyseissä koossa. Nastarengasteknisen kehityspotentiaalin arvioimiseksi mitattiin koeluontoisesti kesällä 2006 projektissa käytettävän nastarenkaan seuraajan meluominaisuuksia (kuva 2). Mittaukset suoritettiin vaunumelumittarilla CPX menetelmän mukaisesti Klaukkalan ja Röykän koekohteilla. Koekohteet valittiin niiden lähekkäisen sijainnin ja samantyyppisten päällysteiden tähden. Uusi rengas on keskiarvona noin 0,4 dB hiljaisempi kuin edeltäjänsä. Ero kuulostaa pieneltä, mutta se on rengastekniikassa kuitenkin merkittävä. Kesällä 2007 suoritettussa laajassa rengasvalmistaja vertailussa tuolla 0,4 dB

erolla nousisi monta sijaa (kuva 3). Kyseessä on tuotteen parantaminen kompromisseja tekemällä. Melu on yhtenä suunnittelukriteerinä, mutta turvallisuusorientoituneena tuotteena nastarenkaan kohdalla melu ei ole tärkeimpien kriteerien joukossa. Kehityspotentiaalia hiljaisempien nastarenkaiden suuntaan kuitenkin on. On huomattava, että uuden mallin hiljentymä riippuu myös päällysteestä, mutta yleistrendi on selvästi laskeva.

Jos nastarengas malli on markkinoilla lähes samanlaisena 3 vuotta, kestää nastarenkaan kehitystyön avulla 3 dB melun aleneman saavuttaminen 7,5 rengassukupolvea eli noin 22 vuotta. Peukalosääntönä voidaan sanoa, että 3 dB:tä oli näissä mittauksissa rengas tyyppien välinen porrastus mentäessä meluisimmasta eli nastarenkaasta kesärenkaan kautta hiljaisimpaan eli kitkarenkaaseen. Lähes samansuuruinen ero on siirryttäessä referenssipäällysteeltä hiljaiseksi tarkoitetulle päällysteelle.

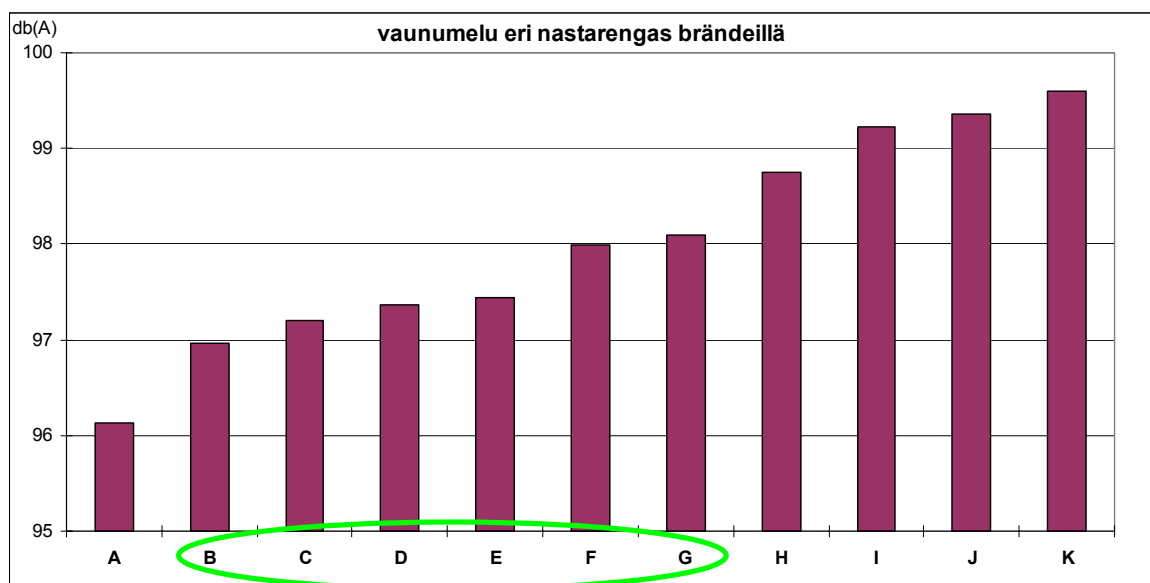


Kuva 2. Nastarengasmallien välinen ero. Keskimääräinen hiljenemä on 0,4 dB. Kyseessä oli koeluontoinen mittaus saman valmistajan uuden rengassukupolven vaikutuksesta. Mittauksessa uuden rengasmallin nastaulkoneman k.a. oli 1,05 mm ja vanhemman 0,96 mm.

Kesällä 2007 suoritettiin laaja valmistajavertailu nastarenkailla. Renkaiden koko oli 205/55R16, joka on hyvin yleinen rengaskoko uusissa autoissa ja autolehtien rengastesteissä. Renkaat mitattiin vaunumelumittarilla Pirkkolantien koekohteessa sekä hiljaiseksi tarkoitetulla että referenssipäällysteellä. Tässä raportissa referenssipäällysteen tulokset, koska sen tyyppisiä perinteisiä päällysteitä on yleisesti käytössä. Tavoitteena oli arvioida nastarenkaiden välisiä eroja ja saada tietoa, yhdistyykö hiljaisuus ja turvallisuus joissain tuotteissa poikkeuksellisen hyvin. Tavoitteena ei ollut tutkia päällysteen toimintaan tai eri päällystetyyppien eroja. Turvallisuusvertailun lähtötieto saatiin vertaamalla melutuloksia Tekniikan Maailman vuoden 2007 talvirengastestin tuloksiin. Testatut renkaat olivat samanmallisia mutta eri yksilöitä kuin Tekniikan Maailman testaamat. Ne olivat ns. sisäänajettuja. Tulokset julkaistaan ilman rengas merkkien nimiä, koska kyseessä ei ollut rengasvalinnan tueksi tehty vertailu. Tavoitteena oli arvioida markkinoilla olevien renkaiden keskinäisiä eroja ja kehitysmahdollisuuksia.

Kuvassa 3 on esitetty tulokset. Selkeästi hiljaisin rengas menestyi lehtitestissä erittäin huonosti. Sen nastaulkonema oli sisäänajokin jälkeen epäonnistunut jääpitoa ajatellen, samoin muut talviominaisuudet. Voimakkaasti turvallisuus painotteisen lehtitestin kuusi ensimmäistä rengasta sijoittuvat lähelle toisiaan myös melussa (vaihteluväli 1,1 dB). Järjestys ymmärrettävästi eroaa lehtitestin melutuloksista. Lehtitestissä arvioidaan auton sisämelua ja tämä tutkimuksen tulos on vain ulkomelua vertaileva.

Jos jätetään testin hiljaisin ja meluisin rengas pois, renkaiden vaihteluväli on 2,4dB. Tämä on paljon. Meluisimmat renkaat menestyivät keskimääräistä huonommin turvallisuuden suhteen. Laadukkaassa talvirenkaassa hiljaisuus ja turvallisuus on mahdollista yhdistää samaan tuotteeseen.



Kuva 3. Vaunulla mitattu melu eri nastarenkailla. Vihreällä ympyrällä on merkitty TM 17/2007 testin kuusi ensimmäistä rengasta (näyte B ei ole voittaja, mutta B-G saivat kuusi ensimmäistä sijaa testissä). Näiden renkaiden meluisuuden vaihteluväli on 1,1dB. Hiljainen nastarengas ei ole siis vastakkainen ominaisuus turvallisuudelle.

Huomattavaa kuitenkin on, että nastarengasta ei voi pitää nastattomaan talvirenkaaseen tai kesärenkaaseen verrattuna mitenkään hiljaisena, vaan pikemminkin päinvastoin. Nastamelua tulee pyrkiä vähentämään rengasteknisellä suunnittelulla. Aihe on nyt jo hyvin voimakkaiden tuotekehityksen panosten kohteena, mutta rengastehtaiden ensisijainen tavoite on säilyttää turvallisuusominaisuudet.

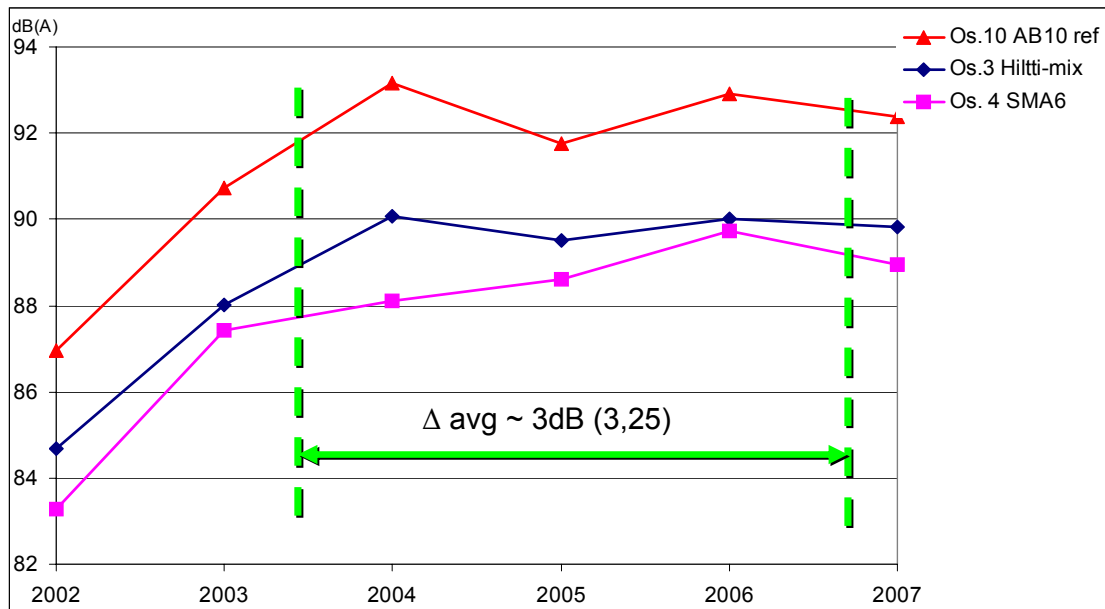
Lehtitestien tulisi painottaa renkaiden meluominaisuuksia arvostelussaan enemmän ja kehittää testimenetelmiään läpinäkyvimmiksi melun osalta. Havainto koskee kaikkia alan lehtiä. Kuluttajätietoisuuden lisääminen renkaiden ympäristöystävällisyydessä olevista eroista (melu ja vierintävastus) tätä kautta, edistäisi hiljaisten renkaiden kehitystä. Turvallisuuden osalta kärjen erot ovat hyvin pieniä.

3 PÄÄLLYSTEIDEN IKÄÄNTYMINEN

3.1 Meluominaisuuksien muuttuminen

Riihiniityntien HILJA-kohteessa tutkittiin viisi vuotta vanhan päällysteen ominaisuuksien muuttumista. Riihiniityntien koekohteen seuranta valituilta osuuksilta oli yksi VIEME:n tavoitteista, jotta saadaan tietoa päällysteen pitkäaikaiskestosta. Kuvassa 4 on esitetty vaunumelumittaustulokset. Hiljaisen päällysteen melua vaimentava ominaisuus on reilu 3dB:tä keskiarvona vuosien 2004-2007 välillä. Vuosikohtaisia eroja on jonkin verran; esimerkiksi vuonna 2004 paremman hiljaisen päällysteen ja referenssin ero on ollut 5 dB.

Tutkimuksen tärkeä tulos oli, että päällysteiden väliset meluerot säilyivät koko viisivuotisen tarkastelujakson ajan. Kohteena olleet hiljaiset päällysteet osoittautuivat siten onnistuneiksi.



Kuva 4. Riihiniityntien melutuloksia uudesta lähtien. Osuuden 3 tulokset on Destia (Tielikelaitos) antanut projektin käyttöön. Hiljaisella päällysteellä saavutettu melun vaimenema vuosien 2004-2007 välillä on reilu 3dB mitattuna vaunumittauksella.

3.2 Hiljaisten päällysteiden kuluminen

Riihiniityn koekohteessa (keskimääräinen vuorokausiliikenne 5000 ajoneuvoa, kuva 5) Teknillisen korkeakoulun Tielaboratorio mittasi urasyvyydet laser-profilometrillä PANK 5105 mukaan. He ovat suorittaneen kyseisen urasyvyyksien mittaukset koekohteen valmistumisesta lähtien, joten mittaussarja on hyvin vertailukelpoinen. Kuvassa 6 esitetyt tulokset osoittavat, että hiljaiset päällysteet ovat kuluneet vain vähän ja selvästi vähemmän kuin referenssipäällysteet. Hiljaisen päällysteen kulumisessa ei näytä tapahtuvan vuosien mittaan poikkeamia. Tulokset viittaavat siihen, että hiljaisen päällysteen voi saada kestävämmän

hyvin. Riihiniityntie (Espoossa), jossa oli yhteensä 12 koepäälysteosuutta, päällystettiin uudelleen syksyllä 2007, joten tämä 6 vuoden mittainen aikasarja on nyt valmis. On muistettava, että kyseessä oli koekohde, jossa hiljaisen päällysteen kiviainekset valittiin, tuotettiin ja seulottiin poikkeuksellinen huolellisesti.

RIIHINIITYNTIE, ESPOO

Nopeusrajoitus 50 km/h

Jyrsintä (Espoon kaupunki hoitaa)

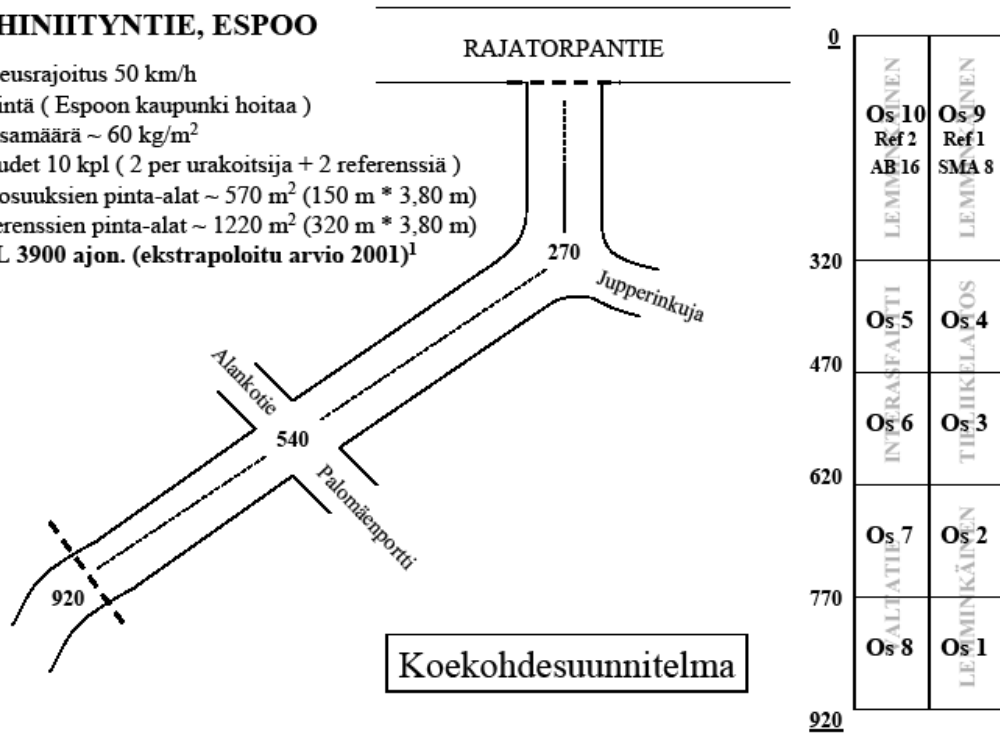
Massamäärä ~ 60 kg/m²

Osuudet 10 kpl (2 per urakoitsija + 2 referenssiä)

Koeosuuksien pinta-alat ~ 570 m² (150 m * 3,80 m)

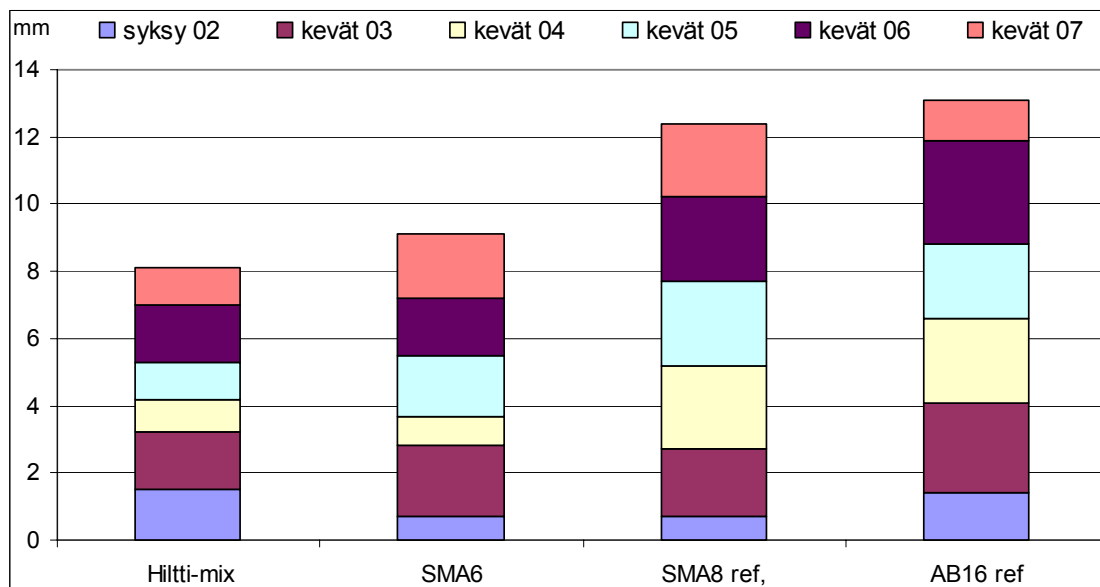
Referenssien pinta-alat ~ 1220 m² (320 m * 3,80 m)

KVL 3900 ajon. (ekstrapoloitu arvio 2001)¹



¹ Espoon kaupunki / Eero Rouhiainen

Kuva 5. Riihiniityntien koekohde alkuperäisessä asussaan. Osuudet 1-8 olivat hiljaisia päällysteitä, osuudet 9 ja 10 referenssipäällysteitä.



Kuva 6. Kumulatiivinen urasyvyys Riihiniityntien koekohteessa osuuksittaisina keskiarvoina. Syksyn 2002 mittaus on nk. alku-ura. Osuudet ovat tehty kesällä 2002 ja olivat syksyllä 2007 jo kokeneet viisi talvea.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Hiljaiset päällysteet ja vierintämelu

- Hiljaiset päällysteet olivat noin 3 dB vertailupäällysteisiä hiljaisempia.
- Hiljaisen päällysteen alhaisempi melutaso säilyi Riihiniityntiellä koko 5-vuotisen tarkkailujakson ajan.
- Kaikkien päällysteiden melutaso oli korkeimmillaan talven jälkeen nastojen ja muun tien pinnan kulumisen aiheuttaman karheuden vuoksi. Mitattu melutaso laski koko kevään ja alkukesän ajan. Voimakkainta lasku oli heti keväällä talvisen karheuden sileässä.

Renkaat ja vierintämelu

- Melutason erot hiljaisten ja vertailupäällysteiden välillä olivat suurimmat kesärenkailla.
- Kitkarengas oli aina hiljaisin. Kitkarenkaan ja nastarenkaan melutasossa oli huomattavan suuri ero (uusilla renkailla 8-9 dB) varsinkin hiljaisilla päällysteillä.
- Talvella hiljaisella päällysteellä ei saavuteta merkittävää hyötyä, koska nastarenkailla oli hiljaisilla päällysteillä yhtä suuri melutaso kuin normaaleillakin päällysteillä ja koska nastarenkaat on selvästi yleisin rengastyyppe Suomessa. Uuden sukupolven nastarenkaan melutaso oli hieman alhaisempi kuin VIEME-projektissa käytetyn, joten kehityspotentiaalia hiljaisempien nastarenkaiden suuntaan kuitenkin on.
- Nastarenkaan hiljaisuus ja turvallisuus eivät ole toisiaan poissulkevia ominaisuuksia. Nastarenkaiden keskinäisessä vertailussa hiljaisuus ja turvallisuus ovat ominaisuuksia, jotka on yhdistetty nyt jo useissa renkaissa. Kuitenkaan mitään

nastarengasta ei voi sanoa hiljaiseksi jos verrataan kitkarenkasiin eli nastarengasmelun vähentämiseen tulee kiinnittää enemmän huomiota.

Hiljaisten päällysteiden kuluminen

- Riihiniityntien kaksi hiljaista päällystettä olivat kuluneet viiden vuoden aikana selvästi vähemmän kuin referenssipäällysteet. Oikeista raaka-aineista ja hyvin tehty hiljainen päällyste on kestänyt hyvin.

Melun leviäminen: hiljaisten päällysteiden, rengastyypin ja melusteiden vaikutus



Meluestemittaus Kehä I:llä Kannelmäen–Lassilan kohdalla

SISÄLLYS

1	Johdanto	25
2	Mittaus- ja analyysimenetelmät	26
2.1	Tallennus	26
2.2	Jälkikäsittely	27
3	Päällysteiden vertailumittaukset	29
3.1	Päällystekohdeparit 2006	29
3.1.1	Mittausjärjestelyt	29
3.1.2	Päällystetulokset 2006	29
3.2	Päällysteet Pirkkolassa 2007	30
3.2.1	Mittausjärjestelyt	30
3.2.2	Pirkkolan päällystetulokset 2007	32
4	Renkaiden vertailumittaukset	34
4.1	Rengasvertailu Nokialla 2006	34
4.1.1	Mittausjärjestelyt	34
4.1.2	Nokian rengasvertailun tulokset	34
3.2	Rengasvertailu Pirkkolassa 2007	35
5	Korkeus- ja leviämistarkastelu	37
6	Meluusteiden vaimennusmittaukset	38
6.1	Estevaimennuksen määritelmät	38
6.2	Kohteet, olosuhteet ja menetelmät	39
6.3	Estemittausten tulokset	42
7	Yhteenveto	43
	Viitteet	44

1 JOHDANTO

VIEME-tutkimushankkeen melututkimusten toisen osan muodostaa Akukonin osuus, jossa tutkitaan melun säteilyä ja leviämistä tien ympäristöön. Tämän osuuden melumittaukset ovat sovellettuja ohiajomittauksia. Itse mittausten ja niiden välittömien tulosten ohella tämän osan toinen päätavoite on selvittää mittaustietojen kytkentää tieliikennemelun leviämismalleihin, nykyiseen pohjoismaiseen laskentamalliin sekä valmisteilla olevaan EU:n uuteen Harmonoise/Imagine -laskentamalliin [1–4].

Tutkimusten vuonna 2006 tehdyissä mittauksissa tehtiin kahdenlaisia vertailuja:

- hiljaisen ja referenssipäällysteen välinen vertailu neljässä kohdeparissa,
- kolmen rengastyypin vertailu Nokian Renkaiden testiradalla Nokialla.

Mittaustuloksia verrattiin melun leviämismalleilla saatuihin laskentatuloksiin.

Rengasvertailu oli erillinen rajattu kokonaisuutensa ja se valmistui vuoden 2006 osuudessa. Ensimmäisen kesän päällystevertailut muissa mittauskohteissa paitsi Helsingin Pirkkolassa katsottiin myös riittäviksi. Pirkkolantie sen sijaan valittiin kohteeksi, jossa tutkimuksia jatkettiin vuonna 2007. Hiljainen päällyste laskettiin syksyllä 2006, joten oli kiinnostavaa seurata päällysteen ominaisuuksia ensimmäisen talven jälkeen.

Nastarenkaiden meluisuus tavallisessa liikenteessä valittiin uudeksi tutkimusaiheeksi vuodelle 2007. Etukäteen arvioitiin, että vakioliikenteessä nastarenkaat eivät ole läheskään niin paljon kesärenkaita meluisampia kuin uusi nastarengas Nokian testiradan mittauksissa. Mittauspaikaksi sopi Pirkkolantie.

Toisena uutena aiheena vuonna 2007 oli leviämistutkimuksen laajentaminen koskemaan meluesteitä. Tavallisen perusesteen vaimennus liikenteen kokonaismelulle tunnetaan hyvin ja laskentamallilla sen vaikutus voidaan ennustaa luotettavasti. Viime vuosina ovat korkeat ja erikoiset esteet kuitenkin yleistyneet pääväylien varsilla. Oli kiinnostavaa tarkistaa, kuinka tehokkaita ne ovat rengasmelulla, suurehkoilla nopeuksilla sekä mikä on laskentamallien ennustama vaimennus mittaustuloksiin verrattuna. Meluestemittaukset tehtiin Helsingin Kehä I:llä. Sen varrella on lähekkäin useita erityyppisiä meluesteitä, joista eräät ovat erityisen kookkaita ja tehokkaita.

Melun leviäminen -osuuden toisen vuoden tutkimusaiheina olivat siten

- Pirkkolantien hiljaisen ja vertailupäällysteen seuranta,
- nastarenkaiden meluisuus Pirkkolassa,
- neljän erityyppisen meluesteen vaimennus.

Mittaustuloksia verrattiin jälleen tieliikennemelun nykyisen pohjoismaisen laskentamallin laskentatuloksiin.

Tässä raportissa esitetään tiivis versio ”melun leviäminen” -osatutkimuksen mittauksista ja niiden perusanalyysin tulokset. Tutkimukset on esitetty laajemmin erillisissä taustaraporteissa [5, 6]. Aihepiiristä on lisäksi valmisteilla Jarno Kokkosen diplomityö, jossa mittauksia ja tuloksia tullaan käsittelemään yksityiskohtaisemmin ja vertailuja tehdään myös valmisteilla olevaan EU:n uuteen laskentamalliin.



Kuva 1. Mikrofonit Nokian koeradalla, oikeanpuoleisessa kuvassa näkyy taustalla myös takamikrofoni.

2 MITTAUS- JA ANALYYSIMENETELMÄT

2.1 Tallennus

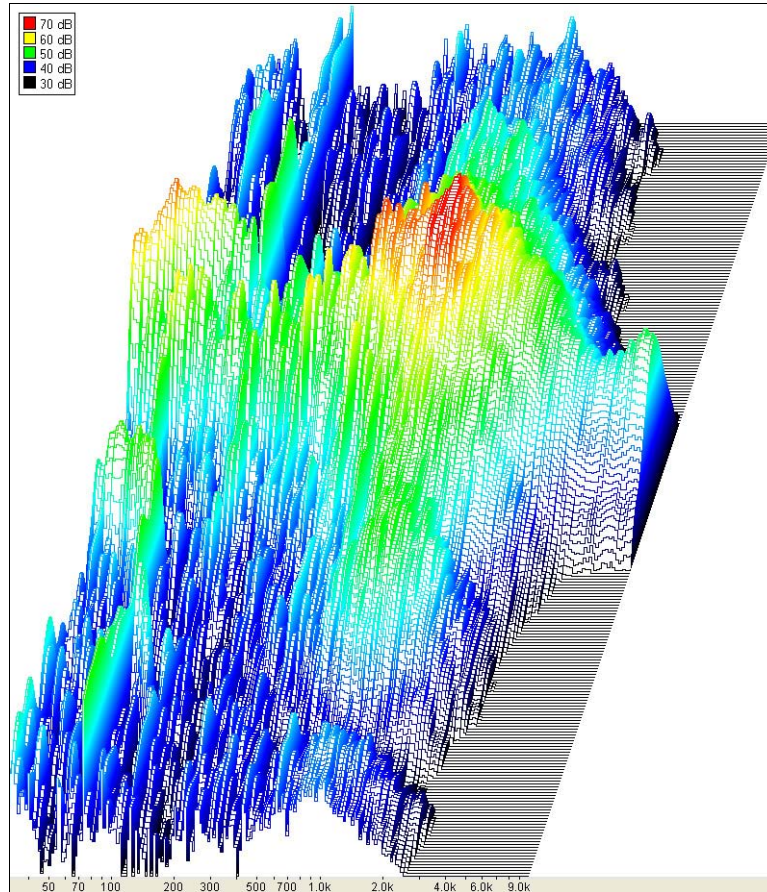
Kaikissa ”melun leviäminen” -osatutkimuksen mittauksissa käytettiin samaa mittausmenettelyä. Ohiajomittausten perusmenetelmä, tilastollinen ohiajo eli statistical pass-by (SPB), on kansainvälisesti standardoitu (ISO 11819-1) [7]. Ohiajomenetelmästä on käytettävissä laajennettu muoto, pohjoismainen Nordtest-menetelmä (NT ACOU 109) [8], joka on tarkoitettu lähinnä laskentamallien lähtöarvojen mittauksiin.

Tässä tutkimuksessa Nordtestin mittausmenetelmää sovellettiin edelleen hieman laajemmin. Kahden mikrofoni-pisteen sijasta käytettiin kolmea mikrofonia (Kuva 1) vakioetäisyydellä (10 m keskilinjasta) ja kolmella eri korkeudella (ISO:n vakiokorkeus 1,2 m sekä Nordtestin korkeudet 0,2 m ja 4,0 m).

Lisäksi käytettiin neljättä mikrofonia, joka oli edellisten takana kauempana tiestä ja 1,7 m korkeudella. Tällä ”taka- eli kaukopisteellä” tavoiteltiin tietoa melun lähileviämisestä muutaman kymmenen metrin matkalla ja mahdollisuutta verrata tätä tietoa laskentamalleilla saataviin leviämisen nusteisiin.

Meluestemittauksissa käytettiin samaa neljän mikrofoni-kanavan järjestelmää. Mikrofonien paikat poikkesivat hieman päällystemittauksissa käytetyistä. Yleensä yksi mikrofoni oli esteen edessä tien puolella ja toinen esteen harjan yläpuolella. Kolmas ja neljäs olivat eri etäisyyksillä esteen takana.

Äänisignaalit tallennettiin digitaalisilla DAT-nauhureilla ja siirrettiin analyysiin käytettyjen tietokoneiden kovalevyille jälkeensä tapahtuvaa analysointia varten. Tallennusjaksojen pituus oli yleensä noin 30 min. Digitaalisen tallennuksen ansiosta kaikkien mikrofoni-äänisignaalit olivat täydellisinä ja vääristymättöminä käytettävissä kaikissa mittauksen jälkeenkin tehdyissä analyyseissä.



Kuva 2. Auton ohiajon aika–spektrimaiesema. Aika juoksee ylhäältä alas (kesto 20 s), taajuus on vaaka-akselilla. Moottorin melu näkyy harjanteena n. 70 Hz taajuudella. Keskellä rengasmelun huippu, oikealla nastojen suuritaajuisia rapinaa.

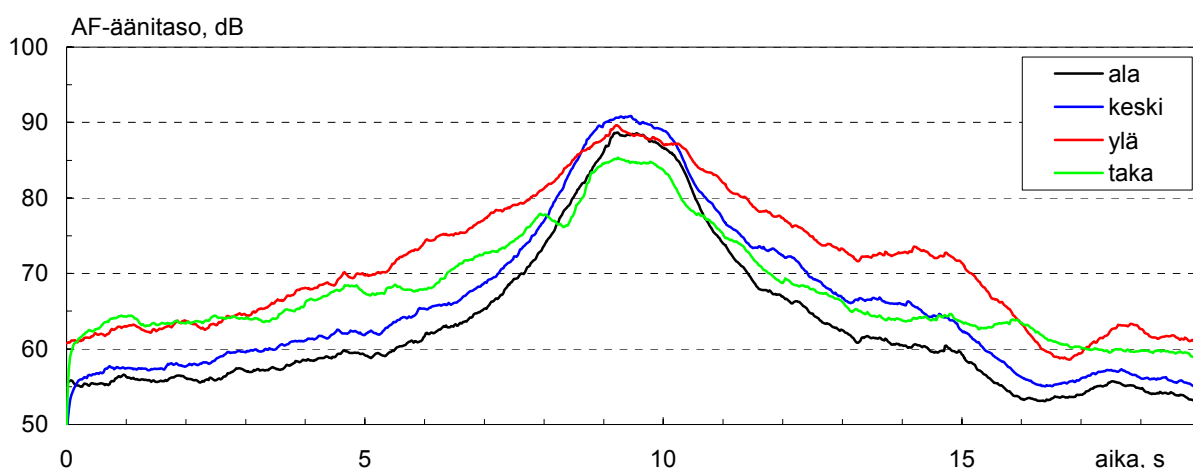
Ohiajaneista autoista tehtiin muistiinpanot ja mittaustilanteet videoitiin. Ohiajot luokiteltiin puhtaisiin ja muiden ajoneuvojen melun pilaamiin. Muistiinpanojen ja videon avulla autot voitiin jälkeinpäin yksilöidä, ohiajot voitiin tunnistaa myös äänisignaalien tallenteista sekä ajoneuvoluokka, suunta ja nopeus voitiin määrittää.

Tien pintalämpötilaa ei mitattu. Epäsuoraa informaatiota pintalämpötilasta voidaan saada ilman lämpötilasta, pilvisyydestä ja ajankohdasta. Kaikissa tapauksissa päällysteet olivat kuivia, vaikka maaperä olikin märkä useimpina mittauspäivinä.

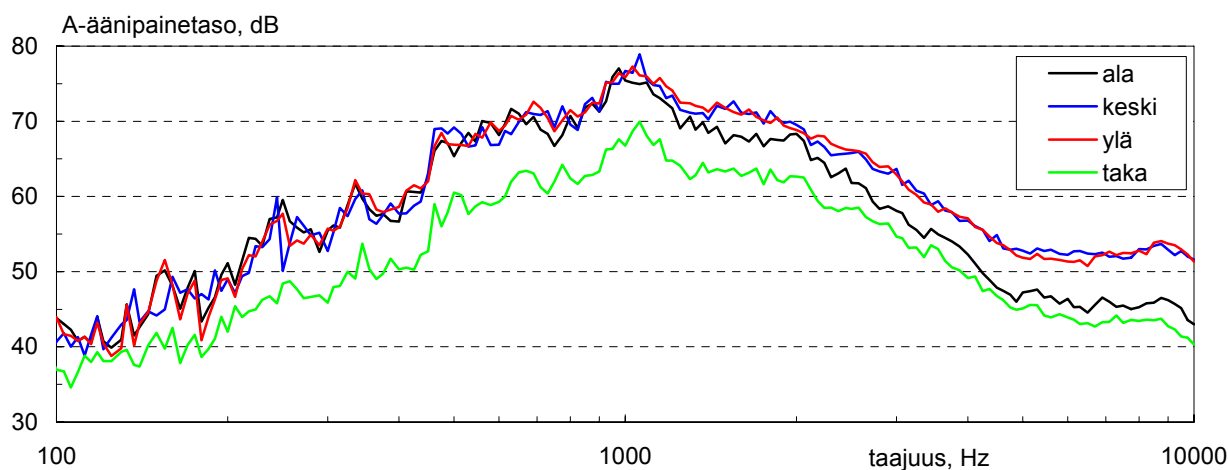
2.2 Jälkikäsittely

Tallennuksen ja jälkianalyysin avulla voidaan tarkkailla lukuisia melun eri yksityiskoh-
tia ja syy–seuraussuhteita, jotka eivät ole enää näkyvissä lopputuloksissa. Esimerkkinä
esitetään yksi ohiajo Nokian mittauksissa, rengas on nastarengas ja nopeus 80 km/h.
Kuvassa 2 on yhden mikrofonin signaalin 3-ulotteinen spektrimaiesema, kuvassa 3 kaik-
kien neljän mikrofonisignaalin tavalliset liukuvan AF-äänitason käyrät (A-taajuus-
painotus ja F-aikapainotus) sekä kuvassa 4 vastaavat kapeakaistaiset spektrit.

Melun perusanalyysissä tallennetuille signaaleille tehtiin jälkikäsittelynä puhdistustyyppinen editointi sekä ohiajojen tunnistus ja luokittelu.



Kuva 3. Auton ohiajon liukuvan AF-äänitason $L_{AF}(t)$ käyrät mikrofoniasteissa (kumpare n. 14 s kohdalla johtuu moottorin uudelleen kytkennästä).



Kuva 4. Auton ohiajon A-painotetut kapeakaistaiset (1/24-oktaavi) spektrit (äänialtistustasot L_{AE}) mikrofoniasteissa.

Tallenteista analysoitiin äänialtistustasot L_E spektreinä terssikaistoittain sekä vastaavat ekvivalenttitasot L_{eq} . Seuraavaksi raat mittaustulokset normalisoitiin pohjoismaisen laskentamallin [2] nimellistilanteeseen: 1000 ajon/h, ei raskaita ajoneuvoja, nopeus 50 km/h ja etäisyys tien keskilinjasta 10 m. Kunkin ohiajon arvioidun keskimääräisen etäisyyden ja mitatun nopeuden normalisointiin käytettiin nykyistä laskentamallia.

Kahden alemman lähipisteen etäisyydet ovat laskentamallin nimellistilanteen etäisyys 10 m. Ylä- ja takapisteen tulokset normalisoitiin myös 10 m etäisyydelle. Toisin sanoen takapisteen tuloksista poistettiin etäisyysvaimennuksen osuus. Saadut normalisoidut tulokset edustavat kevyiden ajoneuvojen liikennevirran melupäästöä nimellistilanteessa ja leviämisen osalta pelkän maavaimennuksen osuutta.

Primääritulokset 10 m etäisyydellä muodostettiin keski- ja yläpisteen tulosten energia-keskiarvona. Nämä kaksi tulosta olivat kaikissa tapauksissa poikkeuksetta lähinnä toisiinsa. Alapisteen tulokset poikkesivat jo selvästi enemmän keskimääräisen tuloksista.

3 PÄÄLLYSTEIDEN VERTAILUMITTAUKSET

3.1 Päällystekohdeparit 2006

3.1.1 Mittausjärjestelyt

Tutkimuksen päällysteosassa tehtiin kesällä 2006 kahdenlaisia vertailumittauksia:

- vertailu hiljaisen päällysteen ja sen lähellä samalla tiellä sijaitsevan tavallisen, ns. referenssipäällysteen, välillä kolmessa eri kohdeparissa;
- vertailu Pirkkolantien kohteessa vanhan tavallisen päällysteen ja uuden hiljaisen päällysteen välillä;

Mittauspaikat oli valittu samoilta tieosuuksilta, joilla tehtiin koko tutkimushankkeen muitakin mittauksia. Mittauspäivät ja -ajankohdat on lueteltu taulukossa 1.

Taulukko 1. Renkaiden ja päällysteiden vertailumittaukset 2006: kohteet, ajan- kohdat ja kaukopisteen etäisyydet tien keskilinjasta.

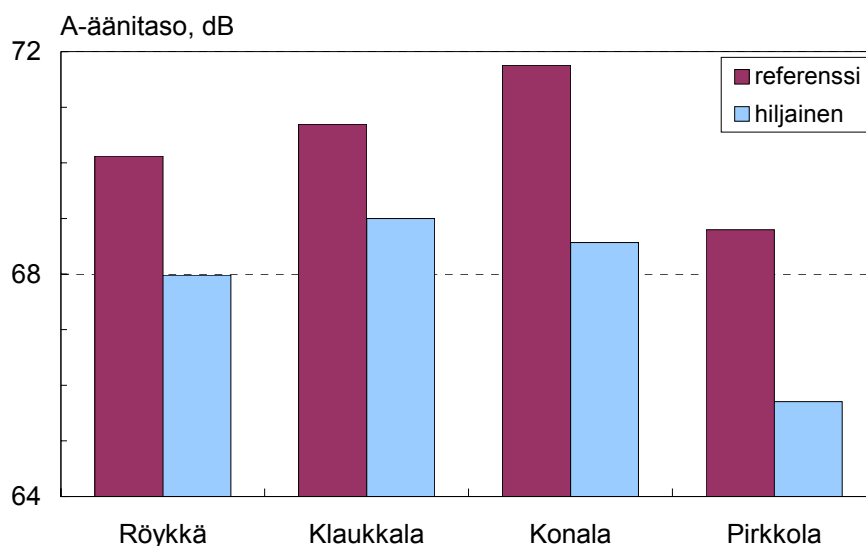
<i>kohde</i>		<i>pvm</i>	<i>alkoi klo</i>	<i>kesto, min</i>	<i>kaukop, m</i>
Röykkä	referenssi	20.6.06	13.05	19	65
	hiljainen	20.6.06	11.40	29	40
Klaukkala	referenssi	20.6.06	15.15	25	30
	hiljainen	21.6.06	12.05	20	30
Konalantie	referenssi	21.6.06	13.45	22	25
	hiljainen	21.6.06	15.55	22	40
Pirkkolantie	alkuperäinen	28.4.06	13.55	47	25
	uusi hiljainen	13.10.06	14.45	32	25

3.1.2 Päällystetulokset 2006

Päällystevertailuiden kokonaistulokset on esitetty kuvassa 5 ja taulukossa 2. Yksityiskohtaisia tuloksia eli terssispektrejä kohteittain ja pisteittäin on esitetty taustaraportissa [5]. Perustulosten ohella on esitetty vertailu nykyisen pohjoismaisen tieliikennemelun laskentamallin lähtöarvoon 68 dB.

Tulokset ovat tarkemmassa uusinta-analyysissä hieman muuttuneet alkuperäisiin vuoden 2006 raportissa ilmoitettuihin lukuarvoihin nähden. Muutoksen syynä on se, että ajoneuvojakautumaan ja nopeuksiin liittyvä normalisointi tehtiin alun perin laskentamallin edellisellä, mutta ns. virallisella (suomenkielisellä) versiolla [1]. Uusittu analyysi tehtiin viimeisimmällä versiolla [2].

Tulokset osoittavat, että hiljaiset päällysteet olivat n. 2–3 dB hiljaisempia kuin vertailupäällysteet. Hiljaisiin oli Pirkkolantien tuore (alle 2 viikon ikäinen) päällyste, reilu 3 dB hiljaisempi kuin kohteen vanha päällyste. Meluisin päällyste oli Konalantien vertailupäällyste, jonka tulos oli melkein 4 dB suurempi kuin laskentamallin lähtöarvo.



Kuva 5. Vuoden 2006 päällystevertailun kokonaistulokset koko liikennevirralle, normalisoituina pohjoismaisen tieliikennemelun laskentamallin nykyisen version nimellistilanteeseen (mallin lähtöarvo = 68 dB).

Taulukko 2. Vuoden 2006 päällystevertailun tulokset (ekvivalentit A-äänitasot L_{Aeq} ja niiden erotukset [dB]) ja ero nykyisen laskentamallin nimelliseen lähtöarvoon.

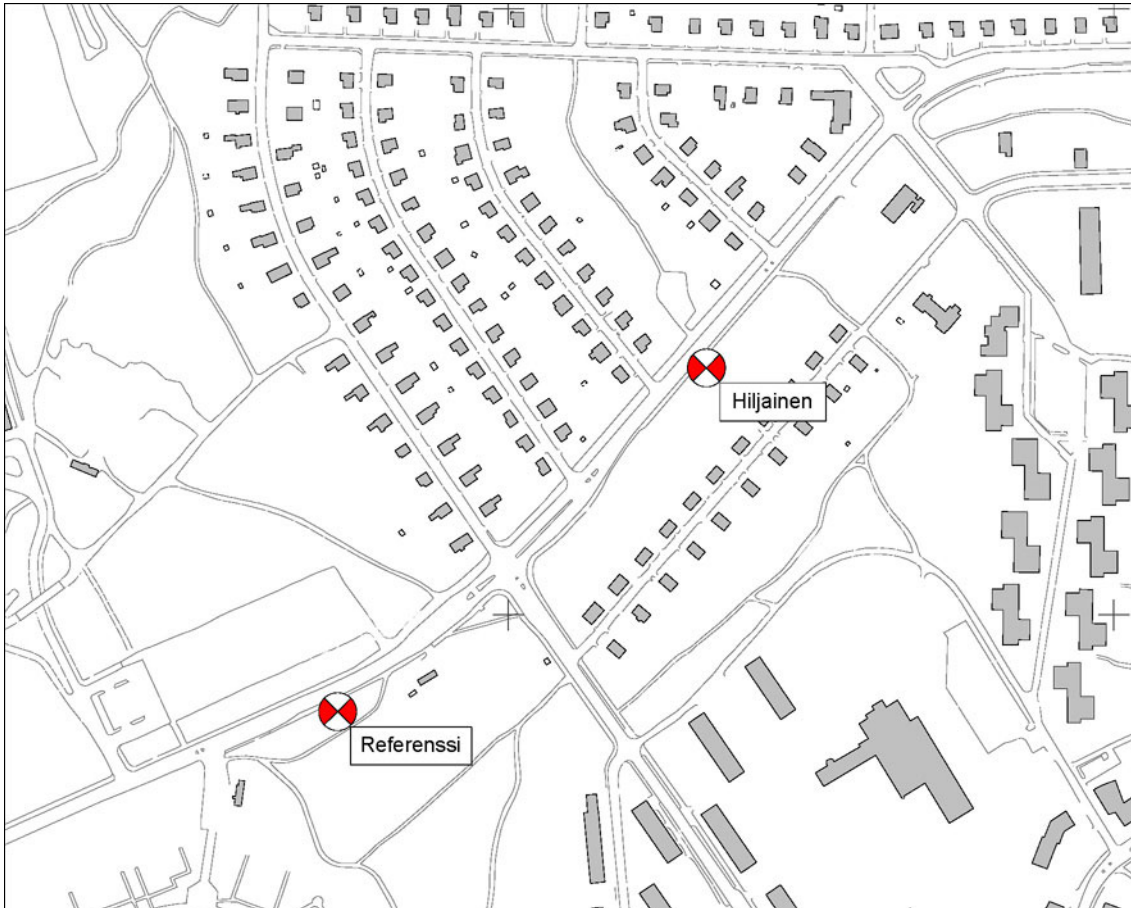
<i>kohde</i>		<i>raaka</i>	<i>normalisoitu</i>	<i>re laskentamalli</i>
Röykkä	referenssi	72,1	69,1	+1,1
	hiljainen	67,4	66,1	-1,9
	erotus		+3,0	
Klaukkala	referenssi	72,0	68,8	+0,8
	hiljainen	70,6	67,0	-1,0
	erotus		+1,8	
Konala	referenssi	66,9	70,9	+2,9
	hiljainen	66,3	67,6	-0,4
	erotus		+3,3	
Pirkkola	alkuperäinen	68,0	68,9	+0,9
	uusi hiljainen	65,0	65,2	-2,8
	erotus		+3,7	

3.2 Päällysteet Pirkkolassa 2007

3.2.1 Mittausjärjestelyt

Pirkkolantiellä tehtiin vuoden 2007 aikana kolme vertailumittausta: keväällä, kesällä ja syksyllä. Hiljaisen päällysteen mittauskohta oli sama kuin vuoden 2006 mittauksissa.

Referenssikohde sijaitsi edellisestä kohdasta n. 330 m länteen. Kauko- eli takapisteen etäisyys tien keskilinjasta oli muuten sama 25 m vakioetäisyys kuin vuoden 2006 mittauksissakin, mutta viimeisessä referenssikohdan mittauksessa etäisyys oli 30 m.



Kuva 6. Mittauspaikkojen sijainti Helsingin Pirkkolantiella. Mittakaava 1:5000.



Kuva 7. Mittauspaikat Pirkkolantiella: (vasen) hiljainen, (oikea) referenssi.

Mittauspaikat näkyvät kuvissa 6 ja 7. Mittauspäivät ja -ajat on lueteltu taulukossa 3 ja liikennemäärätiedot taulukossa 4.

Kevään mittauksen aikana lähes kaikilla kevyillä ajoneuvoilla oli vielä nastarenkaat. Kevään mittaus edustaakin tilannetta, jossa tie on paljas, mutta vielä talvikunnossa (mittaushetken lämpötilaa lukuun ottamatta), ja autoissa on talvirenkaat. Keskimääräisissä nopeuksissa ei ollut merkittävää vaihtelua eri mittauskertojen välillä.

Taulukko 3. Pirkkolantien päällystemittausten ajankohdat 2007.

<i>mittaus</i>	<i>kohde</i>	<i>pvm</i>	<i>alkoi klo</i>
Kevät 07	hiljainen	27.3.07	13.55
	referenssi	27.3.07	15.30
Kesä 07	hiljainen	8.6.07	12.55
	referenssi	8.6.07	13.05
Syksy 07	hiljainen	25.9.07	13.55
	referenssi	26.9.07	11.30

Taulukko 4. Pirkkolantien 2007 mitatut keskimääräiset nopeudet ja analyysiin mukaan otetut kevyiden ajoneuvojen liikennemäärät.

<i>pvm</i>	<i>kohde</i>	<i>nopeus, km/h</i>	<i>itään</i>	<i>länteen</i>
27.3	hiljainen	49	60	38
27.3	referenssi	46	136	50
8.6	hiljainen	49	86	59
8.6	referenssi	48	86	62
25.9	hiljainen	48	76	83
26.9	referenssi	49	71	52

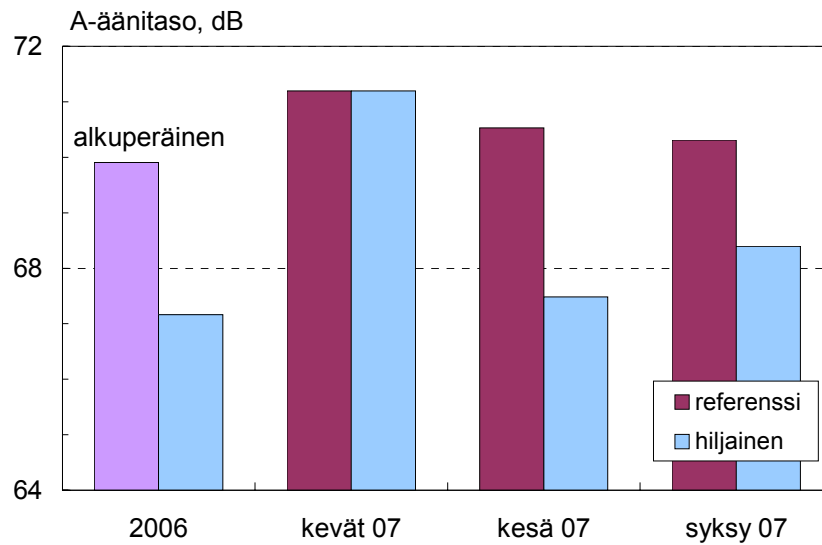
Raskaat ajoneuvot hylättiin vuoden 2007 mittausten analyysissä. Tärkein syy oli, että niiden lukumäärä oli liian pieni luotettavaan tilastolliseen analyysiin. Toinen merkittävä tekijä oli, että ne koostuivat lähinnä busseista, joille laskentamalli olisi normalisoinnissa antanut pienehköä lukumäärää suuremman merkityksen. Lisäksi bussien ajotapa oli erilainen hiljaisen ja referenssipäällysteen kohdalla. Referenssipäällysteen kohdalla bussit kiihdyttivät ja jarruttivat läheisen pysäkin takia. Hiljaisen päällysteen kohdalla ne ajoivat enimmäkseen tasaisella nopeudella.

3.2.2 Pirkkolan päällystetulokset 2007

Päällystevertailun kokonaistulokset A-äänitasolle L_{Aeq} on esitetty kuvassa 8 ja taulukossa 5. Yksityiskohtaisia tuloksia eli terssispektrit kohteittain ja pisteittäin on esitetty vuoden 2007 taustaraaportissa [2].

Taulukossa 5 on esitetty raat mittaustulokset ja laskentamallin nimellistilanteeseen normalisoidut tulokset sekä vertailu nykyisen pohjoismaisen tieliikennemelun laskentamallin kevyiden ajoneuvojen laskentatulokseen verrattuna. Normalisointi on tehty laskentamallin kevyiden ajoneuvojen lähtöarvoon mittaustilanteen keskimääräisellä nopeudella.

Tulokset osoittavat, että hiljainen päällyste oli keväällä, talven jälkeisessä kunnossa ja nastarenkailla, peräti yhtä äänekäs kuin referenssipäällyste. Kesällä hiljaisen päällysteen toiminta palautui lähes uuden veroiseksi. Syksyllä meluisuus kasvoi hieman uudelleen.



Kuva 8. Päälystevertailun kokonaistulokset Pirkkolassa: vain kevyiden ajoneuvojen melu, normalisoituna pohjoismaisen laskentamallin nimellistilanteeseen.

Taulukko 5. Päälystevertailun tulokset Pirkkolassa, vain kevyet ajoneuvot (ekvivalentit A-äänitasot L_{Aeq} ja niiden erotukset [dB]).

<i>aika</i>	<i>päälyste</i>	<i>raaka</i>	<i>normalisoitu</i>	<i>re laskentamalli</i>
2006	alkuperäinen	67,5	69,9	+2,2
	uusi hiljainen	66,0	67,2	-0,4
	erotus		+2,7	
kevät 07	referenssi	70,0	71,1	+3,7
	hiljainen	68,1	71,2	+3,7
	erotus		-0,1	
kesä 07	referenssi	66,8	70,5	+2,8
	hiljainen	63,8	67,5	-0,3
	erotus		+3,0	
syksy 07	referenssi	66,9	70,3	+2,5
	hiljainen	65,1	68,4	+0,4
	erotus		+1,9	

Tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että Pirkkolantie oli referenssipäälysteen kohdalla ainakin kevyillä ajoneuvoilla n. 2,5 dB meluisampi kuin pohjoismaisen laskentamallin perustilanne ja oletuspäälyste. Sen sijaan mitattu hiljainen päälyste vastaisikin itse asiassa varsin hyvin laskentamallin lähtötilannetta.

Hiljainen päälyste muuttui talven kuluessa karkeaksi, mahdollisesti nastarenkaiden aiheuttamana, mikä pääosin selittää kevään suuremman meluisuuden. Rosoisuus si-
lottui kesään mennessä, kun päälysteen kivet painuivat takaisin pehmenneeseen bitu-
mimassaan. Referenssipäälysteen ulkonäkö ja meluisuus vaihtelivat selvästi vähemmän
eri vuodenaikoina. Kuva 9 esittää hiljaisen päälysteen ulkonäön muutosta ensimmäisen
talven aikana.



Kuva 9. Hiljainen päällyste uutena syksyllä 2006 (vasen) ja keväällä 2007 (oikea).

4 RENKAIDEN VERTAILUMITTAUKSET

4.1 Rengasvertailu Nokialla 2006

4.1.1 Mittausjärjestelyt

Nokian Renkaat Oy:n koeajoradalla Nokialla mitattiin kolmen eri rengastyypin melua. Renkaat olivat samat kesä-, kitka- ja nastarengas kuin projektin muissakin mittauksissa (Z, Hakkapeliitta Rsi ja Hakkapeliitta 5). Autona oli Mercedes-Benz 230C Kompressor.

Mittaukset tehtiin **8.6.2006** keskipäivällä. Mittauspaikka oli koeradan melumittauspisteessä, jossa on erityinen melumittauksiin standardoitu päällyste. Mittauspisteiden sijoittelu oli sama kuin päällystemittauksissa. Mikrofonit näkyvät kuvassa 1. Takapiste oli 25 m etäisyydellä ajolinjasta.

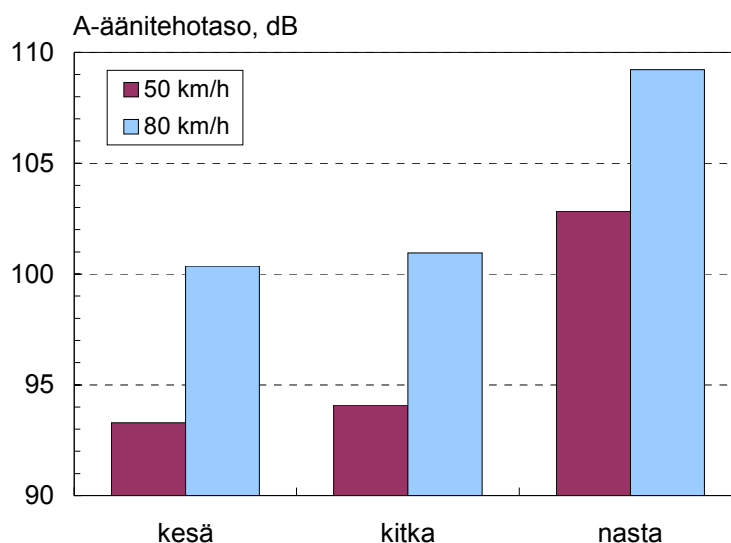
Mittaukset tehtiin kahdella nopeudella, **50 km/h** ja **80 km/h**. Jokaisen rengas+nopeus-yhdistelmän ohiajo toistettiin 8 kertaa. Auto ohitti mittauskohdan rullaten tyhjäkäynnillä, kytkin painettuna pohjaan.

4.1.2 Nokian rengasvertailun tulokset

Kesä-, kitka- ja nastarenkaiden vertailun kokonaistulokset on esitetty kuvassa 10 ja taulukossa 6. Yksityiskohtaiset tulokset eli terssispektrit renkaittain ja pisteittäin on esitetty vuoden 2006 taustaraportissa [5]. Perustulosten ohella on esitetty vertailu EU:n tulevan tieliikennemelun Harmonoise-laskentamallin lähtöarvoihin.

Tulokset osoittavat, että kesä- ja kitkarengas ovat suunnilleen yhtä meluisia; pienemällä nopeudella kesärengas on 0,8 dB ja suuremmalla 0,5 dB hiljaisempi. Uusi sisään-ajamaton nastarengas on muita renkaita hyvin paljon meluisampi, peräti n. 8–9 dB.

Kesärengas on hyvin lähellä Harmonoise-mallin vakioirengasta, kun tarkastellaan vain kokonaismelupäästöjä A-äänitehotasoina. Kuvassa 11 on verrattu kesärenkaan spektrituoksia mallin vierimismelun nimellisen päästön spektreihin molemmilla nopeuksilla.



Kuva 10. Nokian testiradan rengasvertailun kokonaistulokset.

Taulukko 6. Nokian rengasvertailun kokonaistulokset: melupäästöt sekä vertailun vuoksi Harmonoise-laskentamallin nimellistilanteen vierimismelun päästöt (A-äänitehotasot L_{WA} [dB]).

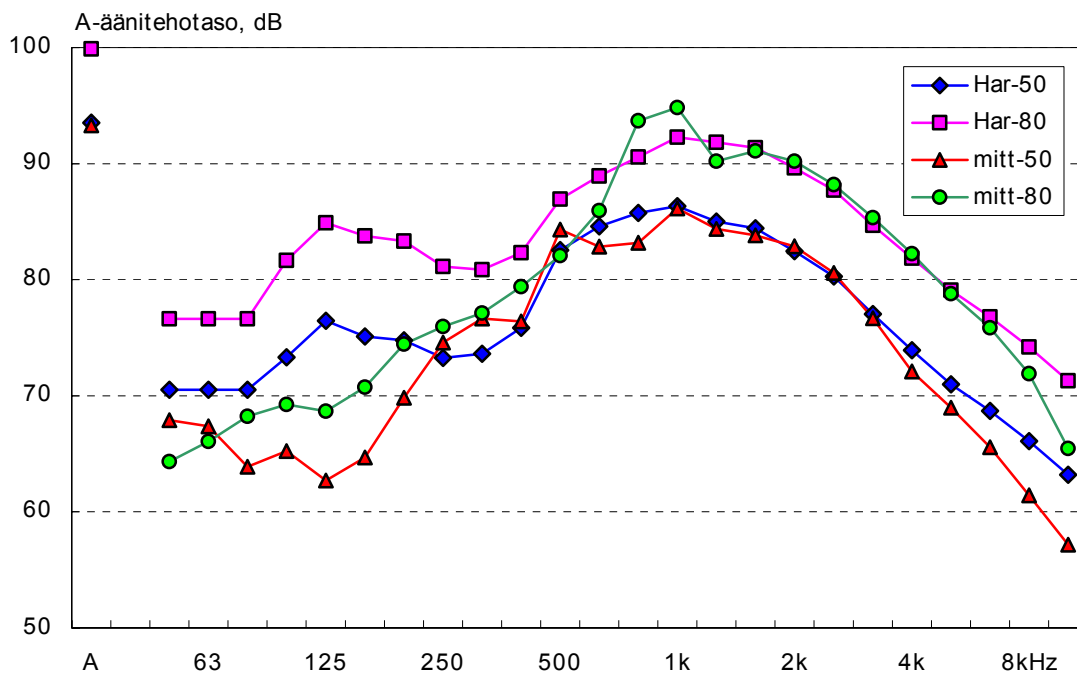
	<i>rengas</i>	50 km/h	80 km/h
	kesä	93,3	100,4
	kitka	94,1	100,9
	nasta	102,8	109,2
Harmonoise	vakio	93,5	99,9

Kaistalta 1,25 kHz ylöspäin vastaavuus on erittäin hyvä. Kesärenkaalla näkyy renkaan pyörimisnopeuden ja kuvioinnin jaksollisuuden tuottamat paikalliset huiput kaistoilla 500 Hz (50 km/h) ja 800 Hz – 1 kHz (80 km/h), jotka ymmärrettävästi poikkeavat laskentamallin päästön tasaisista käyristä (jotka edustavat koko auto- ja rengaskantaa).

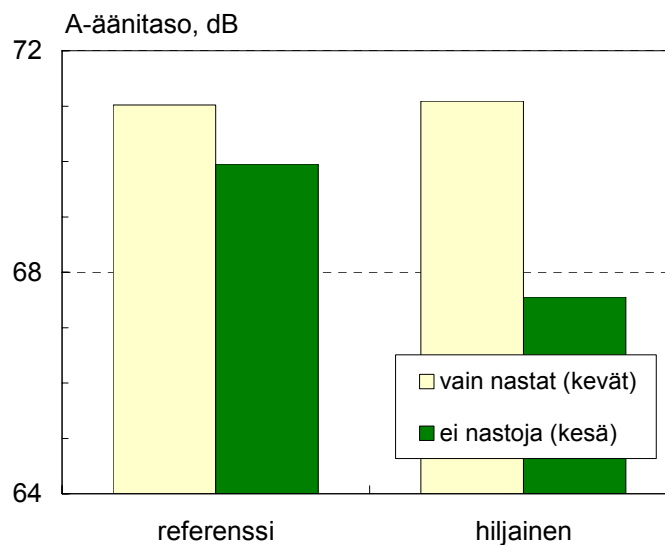
Näiden taajuuksien alapuolella käyrät eroavat toisistaan hämmästyttävällä tavalla. Nokian mittaustilanteessa oli periaatteessa mukana hieman moottorimelua, vaikka juuri mikrofoniin kohdalla auto rullasikin tyhjäkäynnillä. Harmonoisen vierintämelun pitäisi olla puhdas moottorimelusta. Ja kuitenkin mallin käyrät kulkevat pienillä taajuuksilla ylempänä, juuri sen muotoisina, että niissä on mukana moottorimelua. Julkaistut päästökäyrät eivät kenties ole vielä aivan valmiita.

3.2 Rengasvertailu Pirkkolassa 2007

Pirkkolan päällystemittauksista 2007 voidaan erotella myös mittaustulokset nastarenkaiden ja nastattomien renkaiden vertailua varten. Tämän rengasvertailun kokonaistulokset A-äänitasolle L_{Aeq} on esitetty kuvassa 12. Sinänsä kuvassa on miltei sama informaatio kuin päällystevertailun kuvassa 8 ja taulukossa 5. Kevään mittaustuloksiin on tässä kuitenkin otettu mukaan vain nastarenkaat, mikä tuottaa pieniä eroja.



Kuva 11. Nokian testiradan kesärenkaan yksityiskohtaisten mittaustulosten [mitt-] vertailu Harmonoise-mallin vierimismelun nimelliseen melupäästöön [Har-]; lisäparametrina nopeus [km/h].



Kuva 12. Nasta- ja kesärenkaiden vertailun tulokset: vain kevyiden ajoneuvojen melu ja kevätmittauksessa vain niiden ajoneuvojen melu, joilla on nastarenkaat.

Kuvasta nähdään, että peruspäällysteellä (referenssi) nastarenkaat ovat vain noin 1 dB meluisammat kuin kesärenkaat, mutta hiljaisella päällysteellä nastarenkaat ovat lähes 4 dB meluisammat. On kuitenkin korostettava, että ero ei ole pelkästään renkaan aiheuttama, vaan kyseessä on renkaan+päällysteen yhteisvaikutus. Joka tapauksessa keskimääräinen nastarengas on vakioliikenteessä merkittävästi hiljaisempi kuin aivan uusi nastarengas testirataolosuhteissa, kun kummassakin tapauksessa vertailukohtana käytetään kesärenkastaa (kuva 10).

Taulukko 7. Vuoden 2006 mittausten ala- ja taka- eli kaukopisteen tulosten erot primääritulokseen verrattuna [dB]; erot johtuvat pääosin maavaimennuksesta ja alapisteessä lisäksi hieman pystysuuntaavuudesta.

<i>kohde</i>		<i>alapiste</i>	<i>takapiste</i>
Röykkä	referenssi	–0,9	–5,3
	hiljainen	–0,9	–4,1
Klaukkala	referenssi	–0,9	–3,7
	hiljainen	–2,5	–4,0
Konala	referenssi	–6,3	–3,7
	hiljainen	–1,0	–4,9
Pirkkola	alkuperäinen	–3,7	–4,7
	uusi hiljainen	–3,0	–2,6
Nokia	kesärengas	–1,9	–4,1
	kitkarengas	–1,9	–4,2
	nastarengas	–1,7	–5,1

5 KORKEUS- JA LEVIÄMISTARKASTELU

Päällyste- ja rengasmittausten lähipisteiden eri korkeuksilla olleiden mikrofoniin tulokset poikkesivat yleensä systemaattisesti toisistaan seuraavasti: keski- ja yläpisteissä saatiin aina lähes samat tulokset. Primääritulos muodostettiin näiden kahden energiaskeittiarvona. Alapisteessä saatiin yleensä selvästi pienempi tulos kuin kahdessa korkeammalla olleessa pisteessä.

Taka- eli kaukopisteen tulokset on normalisoitu 10 m etäisyydelle, joten tuloksissa on jäljellä vain leviämisen maavaimennuksen osuus.

Taulukossa 7 verrataan vuoden 2006 mittausten eri kohteiden ala- ja takapisteiden tuloksia primäärituloksiin.

Takapisteissä esiintyy melko vakio pehmeän maan aiheuttama n. 4–5 dB lisävaimennus. Ainoa selvempi poikkeus tästä on Pirkkolan syksymittauksen vain 2,6 dB vaimennus. Mittauspiste oli sama kuin keväällä, eli maaperässä on täytynyt tapahtua akustinen muutos. Selitys on ilmeinen: keväällä maanpinta oli täysin kuiva, syksyllä taas runsaan sateen läpikastelema. Märkä maa on akustisesti kovempaa kuin kuiva.

Alapisteiden erot ovat enemmän hajallaan. Konalan referenssipisteessä maavaimennus on peräti yli 6 dB. Maa mikrofoniin kohdalla oli pehmeää ruohoa, mutta jalkakäytävän reunakivellä on voinut myös olla vaikutusta.

Niissä kohteissa, joissa asfaltti ulottui alamikrofonille asti (Röykkä molemmat, Klaukkala referenssi ja Konala hiljainen), alapisteen maavaimennus on vain n. 1 dB. Muissa kohteissa (Pirkkola ja Klaukkala hiljainen) maa mikrofoniin lähellä oli osittain pehmeää, lähinnä ruohoa.

Nokialla alapisteen vaimennus on vajaa 2 dB. Vaikka maa on mikrofonin ympärillä tasaista asfalttia, saattaa juuri pinnan tasaisuudella olla vaikutusta; pinta ei ole samalla tavalla kupera kuin tavallinen tie.

Yhteenvedona alapisteen tuloksista voisi todeta, että siinä saatavissa tuloksissa on enemmän hajontaa kuin ylempänä. Tämän korkeuden käyttö Nordtest-menetelmässä toisena varsinaisena mittauspisteenä ei kenties ole aivan loppuun saakka harkittua.

Ala-, keski- ja yläpisteen erot tuottavat periaatteessa tietoja pystysuuntaavuudesta. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset näyttäisivät kuitenkin viittaavan siihen, että suuntaavuus on yleensä vähäinen (keski- ja yläpisteen tulokset ovat yleensä lähes samoja). Alapisteen vaimennus voitaisiin periaatteessa tulkita myös suuntaavuudesta johtuvaksi. Tässä tulkitaan kuitenkin alustavasti, että noin 1 dB suuremmat erot alapisteessä johtuvat ensisijaisesti nimenomaan maavaimennuksesta mikrofonin lähellä.

6 MELUESTEIDEN VAIMENNUSMITTAUKSET

6.1 Estevaimennuksen määritelmät

Meluesteen vaimennus ei ole yksiselitteinen käsite. Yleensä meluesteen vaimennuksella tarkoitetaan sen *lisäysvaimennusta* (engl. *insertion loss*):

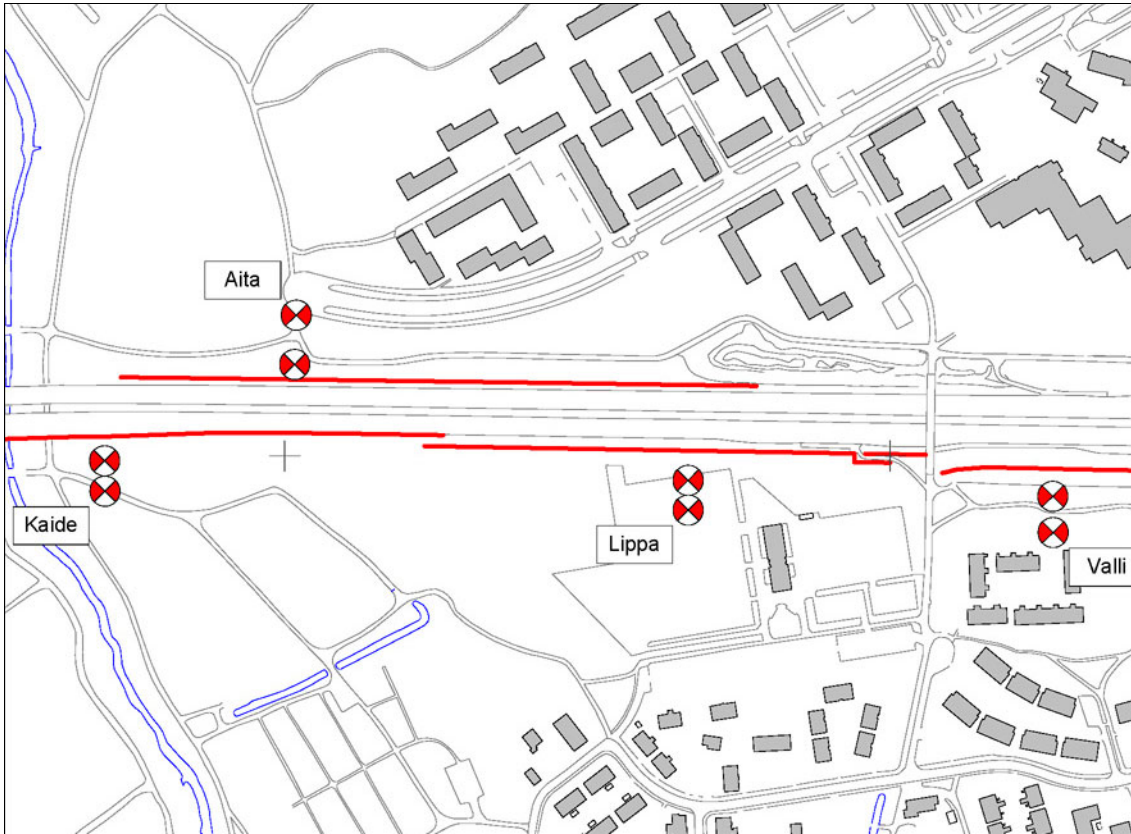
$$D_i = L_{Ae} - L_{Aj} \quad [\text{dB}]$$

missä L_{Ae} on tarkastelupisteen melun A-äänitaso *ennen* esteen rakentamista ja L_{Aj} on äänitaso sen rakentamisen *jälkeen*.

Käsite on periaatteessa selkeä ja maallikostakin helposti ymmärrettävä. Sen sijaan lisäysvaimennuksen käytännön mittaus voi olla hankalaa ja epäluotettavaa. Jos melueste on jo olemassa, *ennen*-mittausta ei yleensä voida tehdä.

Ympäristömelun laskentamalleissa esteen vaimennuksella tarkoitetaan A-äänitason muutosta ΔL_e , joka esiintyy silloin, kun maanpinta on akustisesti täysin kova (tai maanpintaa ei ole). Tämä ei kuitenkaan yleensä ole sama kuin esteen lisäysvaimennus, koska käytännössä maanpinta on pehmeä ja esteen lisääminen samalla myös heikentää sen maavaimennusta. Näin tapahtuu sekä todellisuudessa että laskentamalleissa. Esteen lisääminen siis muuttaa myös laskentamallin maavaimennustermiä, jolloin esteen lisäysvaimennus on pienempi kuin mallin estetermi.

Tässä tutkimuksessa esteen vaimennuksella tarkoitetaan lisäysvaimennusta. Sen mittaaminen esteen rakentamisen jälkeen on haastavaa ja tapahtuu epäsuorasti. Lyhyesti *ennen*-mittausta jäljitellään tekemällä mittaus esteen harjan yläpuolella ja siirtämällä (normalisoimalla) tulos laskennallisesti esteen takana olevan tarkastelupisteen etäisyydelle [7]. Siirtäminen tapahtuu pelkän etäisyysvaimennustermien perusteella. Pehmeän maanpinnan maavaimennusta tai maaston muotoja ei oteta huomioon.



Kuva 13. Estevaimennusten mittauspaikat Helsingin Kehä I:llä Lassilan–Kannelmäen kohdalla. Mittakaava 1:5000.

Laskentamalleissa sen sijaan estevaimennuksen määrittäminen voidaan tehdä suoraan lisäysvaimennuksen määrittelyn perusteella, poistamalla este väliaikaisesti mallista. Toisaalta laskentamallilla voidaan myös jäljitellä estevaimennuksen epäsuoraa mittauksia, laskemalla äänitasot eri mittauspisteissä. Tässä työssä laskettiin laskentamallien tuottama arvio estevaimennuksesta tällä viimeksi mainitulla tavalla.

6.2 Kohteet, olosuhteet ja menetelmät

Estevaimennuksen tutkimuksessa mitattiin neljä erityyppistä meluestettä Kehä I:n varrella Helsingin Lassilassa ja Kannelmäessä. Esteille annettiin nimet ”Kaide”, ”Aita”, ”Lippa” ja ”Valli”. Mittauspaikat näkyvät kuvissa 13 ja 14.

Nimellä ”Lippa” tarkoitetaan Lassilan urheilukentän kohdalla olevaa korkeaa aitatyyppistä estettä, jossa on voimakas kallistettu ylärakenne. Muut nimet kuvaavat sellaisinaan esteiden perustyyppiä. Esteiden perusominaisuudet on lueteltu taulukossa 8.

Mittauspäivät ja -ajat on lueteltu taulukossa 9 ja niiden aikana vallinnut sää taulukossa 3. Estevaimennusten mittaukset tehtiin yhtä aikaa esteen etu- ja takapuolella monikanavaisella järjestelmällä. Tämän takia mittauksen aikana esiintynyttä liikennemäärää ei tarvinnut tarkkailla tai laskea. Sääolosuhteet olivat mittauksille riittävän hyvät.



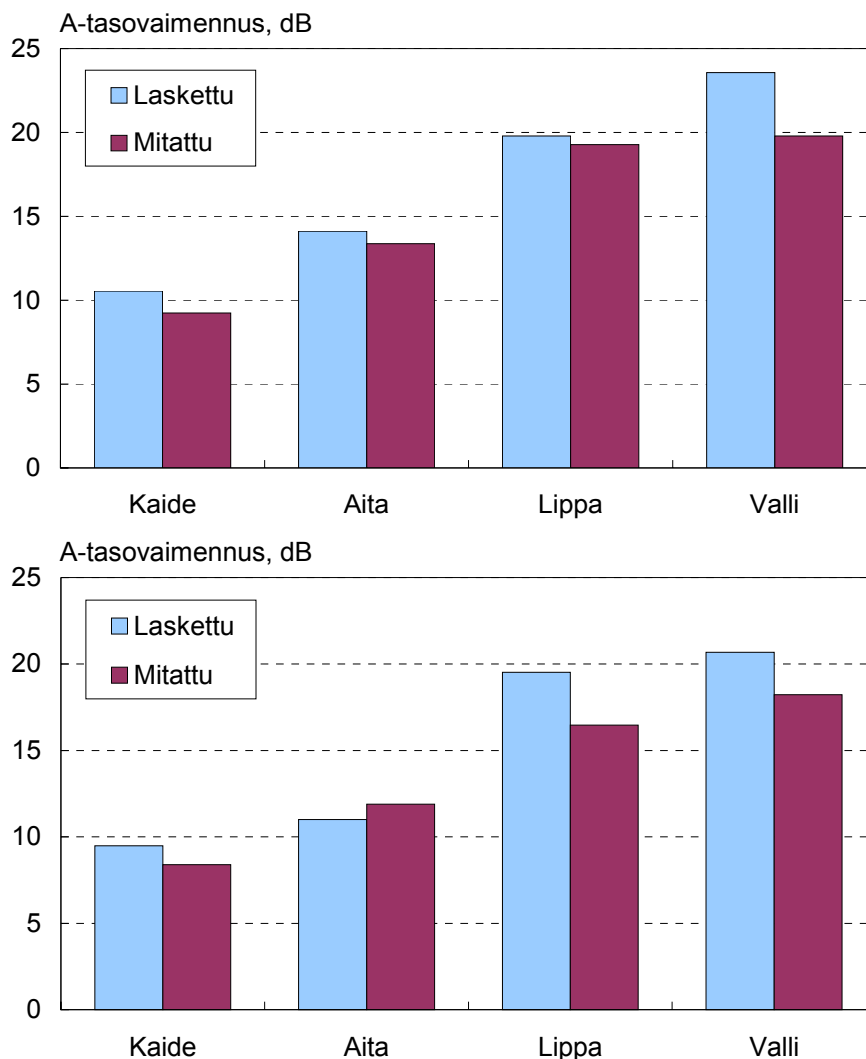
Kuva 14. Mitatut meluesteet: (ylä vasen) Kaide, (ylä oikea) Aita, (ala vasen) Lippa, (ala oikea) Valli.

Taulukko 8. Esteiden perustiedot ja esteen takapuolen mittauspisteiden etäisyys.

este	tyyppi	korkeus, m	etäisyys esteen harjasta, m	
			takapiste 1	takapiste 2
Kaide	matala peruskaide	1,0	16	36
Aita	pysty perusaita	4	10	40
Lippa	korkea aita+kallistettu lippa	7,5	20	40
Valli	korkea maavalli	8	18	43

Taulukko 9. Estemittausten ajankohdat.

este	pvm	alkoi klo	kesto, min
Kaide	5.10.07	13.20	23
Aita	5.10.07	11.20	30
Lippa	4.7.07	11.30	20
Valli	4.7.07	13.30	22



Kuva 15. Melusteiden mitatut ja laskentamallilla lasketut vaimennukset:
 (yläkuva) lähemmät takapisteet (etäisyydet 10–20 m esteestä)
 (alakuva) kauemmat takapisteet (etäisyydet 36–43 m esteestä).

Mittauksissa käytettiin samaa neljän mikrofoniikanavan järjestelmää kuin päällystemittauksissakin. Yksi mikrofoni oli yleensä esteen etupuolella alhaalla tienreunassa (piste ”etu ala”). Toinen oli esteen harjan yläpuolella (piste ”etu ylä”). Kolmas ja neljäs olivat esteen takapuolella; niitä kutsutaan mittauspisteiksi ”taka 1” ja ”taka 2”.

Lähempi takapiste oli 10–20 m päässä esteestä ja kauempi takapiste 36–43 m päässä esteestä. Kaide-tyyppisen esteen tapauksessa etu- ja yläpuolinen piste eivät olleet erikseen relevantteja. Ensimmäinen piste oli vain esteen harjan yläpuolella ja vapaaksi jäänyt mikrofoni ”taka 1” -pisteen yläpuolella.

Vaimennusta laskettaessa lähtötasona on käytetty esteen päällä olevaa yläpistettä, paitsi esteellä ”Valli”, jonka tapauksessa todellisen vaimennuksen kannalta edustavampi lähtötaso saatiin alapisteestä. Lasketut tulokset on saatu samalla menetelmällä kuin mitatut, eli tuloksissa on mukana sekä pehmeän maapinnan vaimennus että maaston muodon vaikutus.

Taulukko 10. Estevaimennuksen mittaustulokset esteiden takana olleissa mittauspisteissä sekä vertailu mallilla laskettuihin vaimennuksiin.

este		taka1	taka2	taka1 ylä
Kaide	mitattu	9,2	8,4	8,4
	laskettu	10,5	9,3	6,8
	erotus	-1,3	-0,9	+1,6
Aita	mitattu	13,4	11,9	
	laskettu	14,1	11,0	
	erotus	-0,7	+0,9	
Lippa	mitattu	19,3	16,5	
	laskettu	19,8	19,5	
	erotus	-0,5	-3,0	
Valli	mitattu	19,8	18,2	
	laskettu	23,6	20,7	
	erotus	-3,8	-2,5	

6.3 Estemittausten tulokset

Estemittausten tulokset on esitetty kuvassa 15 ja taulukossa 10.

Tulokset osoittavat, että matalilla esteillä mitattu ja laskentamallin ennustama vaimennus olivat lähellä toisiaan. Korkeilla esteillä ilmeni suurempia eroja siten, että mitattu vaimennus oli pienempi kuin laskettu. Ilmeinen osasy syy pienempään mittaustulokseen voi olla se, että esteen yli tulevan äänen taso esteen takana on pieni, jolloin muu liikenteen taustamelu nostaa kokonaistasoa ja pienentää näennäistä vaimennusta.

7 YHTEENVETO

Vuoden 2006 mittaukset tuottivat tietoja tienpäällysteiden melusta seuraavissa tapauksissa: vakioliikenteessä esiintyvät tavallisen ja hiljaisen päällysteen erot (Röykän, Klaukkalan ja Konalan kohdeparit) sekä tuoreen hiljaisen asfaltin meluisuus vanhaan verrattuna (Pirkkolantie). Keskeisimmät tulokset olivat seuraavat:

- Hiljaiset päällysteet olivat n. 2–3 dB hiljaisempia kuin vertailupäällysteet.
- Hiljaisin oli Pirkkolantien uusi päällyste.

Vuoden 2007 päällystemittaukset koskivat Pirkkolantien hiljaisen päällysteen ominaisuuksia:

- Keväällä nastarengasaikana hiljainen päällyste oli yhtä meluisa kuin referenssipäällyste.
- Kesällä hiljainen päällyste palautui lähes ennalleen, mutta syksyksi meluisuus lisääntyi jälleen hieman.

Renkaiden melusta järjestettiin erityinen kontrolloitu koetilanne testiradalla (Nokia). Uusilla renkailla esiintyi seuraavia eroja eri rengastyypin välillä:

- Kesä- ja kitkarengas ovat suunnilleen yhtä meluisia; kesärengas oli 0,5–0,8 dB hiljaisempi.
- Uusi nastarengas oli muita paljon meluisampi; ero oli peräti n. 8–9 dB.

Nastarenkaiden melua mitattiin myös kevättalvella 2007 Pirkkolassa. Nastarenkaiden melusta saatiin Pirkkolantiella seuraavat havainnot:

- Nastarenkaat ovat peruspäällysteellä noin 1 dB meluisammat kuin kesärenkaat, mutta hiljaisella päällysteellä yli 3 dB meluisammat.
- Vakioliikenteessä keskimääräinen nastarengas on siten selvästi hiljaisempi kuin uusi nastarengas testiradalla.

Vuoden 2007 melusteiden vaimennuksen mittauksissa saatiin seuraavat tulokset:

- Tavallisilla estetyypeillä mitatut ja laskentamallilla lasketut vaimennukset ovat lähellä toisiaan; tehokkailla esteillä mitatut tulokset ovat pienempiä kuin lasketut.
- Korkeiden ja tehokkaiden melusteiden vaimennuksen mittausta on hankalaa; ne vaimentavat niin paljon, että esteen takana kuuluukin myös muiden teiden liikenteen melua, mikä vääristää mittaustulosta.

VIITTEET

1. Tieliikennemelun laskentamalli. Ympäristöministeriö, *Ohje 6/1993*, Helsinki 1993.
2. Road traffic noise. Nordic prediction method. *TemaNord 1996:525*, Nordic Council of Ministers, Kööpenhamina 1996.
3. Source modelling of road vehicles. HARMONOISE project, Work package 1.1, Deliverable 9, Document **HAR11TR-041210-SP10**.
(http://www.imagine-project.org/bestanden/D09_WP1.1_HAR11TR-041210-SP10.pdf)
4. The noise emission model for European road traffic. IMAGINE project, Deliverable 11, Document **IMA55TR-060821-MP10**.
(<http://www.imagine-project.org/bestanden/IMA55TR-060821-MP10%20-%20IMAGINE%20Deliverable%20D11.pdf>)
5. LAHTI T, KOKKONEN J & PELTONEN T, Vierintämelun ja -pölyn tutkimus VIEME. Melun ohiajomittaukset 2006. *AKUKON 2140-1*, Helsinki 11/2006. 12 s. + liitt. 11 s. (<http://...>)
6. LAHTI T & KOKKONEN J, Vierintämelun ja -pölyn tutkimus VIEME. Melun ohiajomittaukset 2007: päällysteet ja meluesteet. *AKUKON 2140-2*, Helsinki 12/2007. 13 s. + liitt. 14 s. (<http://...>)
7. **ISO 11819-1:1997**. Acoustics — Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise — Part 1: Statistical Pass-by method. *International Organization for Standardization*, Geneve 1997.
8. **NT ACOU 109**. Vehicles: Determination of immission relevant noise emission. *Nordtest*, Espoo 2001.
9. STOREHEIER S Å, Measurement of traffic noise barrier performance. Proposal for NORDTEST method. *ELAB report STF44 A86157*, Trondheim 1986. 34 s.

Hiljaisten päällysteiden ja eri rengastyypin pölyominaisuudet



Pölytutkimuksissa käytetty Stadian Nuuskija-auto ja sen vetävän takapyörän taakse asennettu pölykeräin.

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	46
2 Hiljaisten päällysteiden pölyominaisuudet	46
3 Eri rengastyypin pölyemissiot	47
4 Renkaan iän vaikutus pölyemissioon	51
5 Eri rengasvalmistajien renkaiden pölyemissiot	51
6 Yhteenveto ja johtopäätökset	52

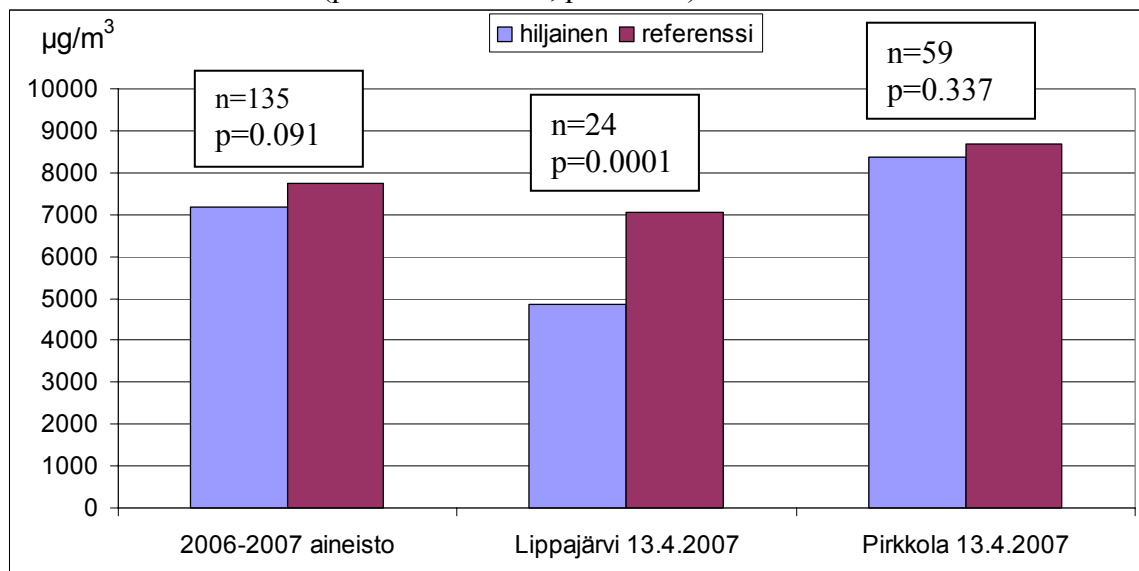
1 JOHDANTO

VIEME-projektin pölytutkimusten tavoitteita ja tehtäviä on kuvattu raportin yleisen osan jaksossa 3. Työssä tutkittiin pölyn muodostusta ja leviämistä erilaiset meluominaisuudet omaavilta päällysteiltä, jotka olivat samoja kuin ne, joissa tutkittiin vierintämelua. Pölyn emissiota tien pinnasta mitattiin Helsingin AMK Stadian Nuuskija-autolla (Stadia mittaukset, Nordic Envicon ja Stadia tulosten käsittely; Pirjola ym. 2004, Kupiainen ym. 2005). Lisäksi tutkittiin eri rengastyypin vaikutusta pölyemissioon. Meluesteen vaikutusta pölyn leviämiseen mitattiin Nuuskija-autolla ja Ilmatieteen laitoksen mallituksen avulla. Tutkituista päällysteistä ja renkaista on annettu perustiedot raportin yleisen osan jaksossa 4.

2 HILJAISTEN PÄÄLLYSTEIDEN PÖLYOMINAISUUDET

Esiselvityksessä tehtiin seuraava johtopäätös: Koska tien pinnalta ilmaan nousevalla pölyllä on keskeinen merkitys ilman hiukkaspitoisuuksille, on tärkeää tuntea, miten pölyä kertyy erilaisten päällysteiden pinnoille ja miten se pysyy näillä pinnoilla. Hiljainen asfaltti saattaa poiketa tavallisista siten, että se pinnaltaan tasaisempaa "varastoi" vähemmän pölyä. Se saattaa olla myös paremmin "itsepuhdistuvaa" (sateiden, tuulten ja liikenteen ilmapvirtausten johdosta) ja paremmin puhdistettavaa, millä seikoilla on huomattavaa merkitystä hiljaisten päällysteiden pölyongelmaa selvitetessä. Tästä pääteltiin esitutkimuksessa edelleen seuraavaa: "Tehdyt mittaukset ja niistä syntynyt hypoteesi antavat aiheita panostaa hiljaisten päällysteiden ja eri rengastyypin merkitykseen pölyn muodostuksessa ja päällysteiden puhdistettavuudessa."

Kuvaan 1 on koottu hiljaisten ja vertailupäällysteiden pölymittausten tulokset useilta päällysteillä sekä nasta-, kitka- ja kesärenkailla. Koko aineistossa on 135 vertailuparia. Nuuskijalla mitatut pölyemissioiden olivat normaaleilla päällysteillä suuremmat ja ero oli tilastollisesti merkitsevä (parittainen t-testi, $p=0.0091$).



Kuva 1. Hiljaisten ja vertailupäällysteiden pölyemissioiden ja erojen tilastollinen merkitsevyys pareittaisella t-testillä.

13.4.2007 tehtiin koe, jossa pyrittiin vertaamaan hiljaisten ja referenssipäällysteiden pölyemissioita keräämällä suurempi aineisto kahdelta kohteelta siten, että ajettiin lukuisia kertoja peräkkäin molemmat päällystetyypit. Pirkkolantiella saatiin näin 59 vertailuparia (kuva 1), joissa kukin keskiarvo koostuu 15-20 mittauspisteestä (yksi vertailupari liitteessä 1). Tässäkin tapauksessa hiljaisten päällysteiden emissiot olivat pienemmät, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kolkekannaksentiellä ja sen vertailuna olevalla Lippajärventiellä saatiin erittäin selvä ero hiljaisen päällysteen hyväksi ja ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä (Kuva 1). Vertailu sisälsi 24 pareittaista keskiarvoa ja kukin keskiarvo sisälsi 15-20 mittauspistettä.

Tutkimusaineiston perusteella näyttää ilmeiseltä, että hiljaisten päällysteiden pölypäästöt ovat alempia kuin vertailupäällysteiden. Tämä johtunee siitä, että ne pinnaltaan tasaisempina "varastoivat" vähemmän pölyä. Suomessa on aikaisemmin mm. meluntorjunnan toimintaohjelmassa¹ oletettu, että hiljaisten päällysteiden laajentuva käyttöönotto lisäisi paikallisesti hiukkaspäästöjä ja heikentäisi ilmanlaatua. Tämän tutkimuksen valossa hiukkaspäästöt päinvastoin vähenevät.

Joitakin viitteitä sekä hiljaisten päällysteiden puhdistettavuudesta että lisäindikaatiota niiden alhaisemmista pölypitoisuuksista saatiin KAPU-projektin tutkimuksista, jossa mitattiin Nuuskijalla hengitettävien hiukkasten emissioita 11.9.2007 Helsingin keskustassa, Espoossa, Vantaan Tikkurilassa ja Suutarilassa Helsingissä². Mittausta edeltävät säät olivat pitkään varsin runsassateiset. Kadut olivat siis kauttaaltaan puhtaat, vaikkei mitään puhdistustoimenpiteitä suoritettu.

Kaikkein alhaisimmat pitoisuudet mitattiin Vantaan Tikkurilan reitiltä. Tikkurilan katujen puhtauteen otaksutaan vaikuttavan sen, että kadut on tehty SMA11-päällysteestä, mitä käytetään Vantaalla vaimentamaan liikennemelua, joten se on siinä suhteessa lähellä hiljaisia päällysteitä. Se on sileäpintaisempi ja siten vähemmän pölyä "varastoiva" kuin muiden reittien karkeammista kivimurskeista tehtyt päällysteet. Niinpä Helsingin reitin päällysteet ovat tyypejä AB16, AB20, SMA16 ja SMA18 (lisäksi nupukiveystä).

3 ERI RENGASTYYPPIEN PÖLYEMISSIOT

Kesä-, nasta- ja kitkarenkaiden (kuva 2) välisten erojen tutkimiseksi tehtiin vuosina 2005-2006 kaikkiaan 82 testiä viidellä hiljaisella päällysteellä ja niiden referensseillä mittaamalla Nuuskijalla eri rengastyypin ilmaan nostattaman hengitettävän pölyn määrää. Yhteenvedo näiden mittausten tuloksista on esitetty kuvassa 3, johon on koottu päiväkohtaiset keskiarvot kaikista hiljaisista ja referenssipäällysteistä rengaskohtaisesti.

Tuloksista nähdään renkaiden välillä erittäin selvät erot. Kokonaiskeskiarvossa kitkarenkaan tuottama pölymäärä oli viisinkertainen kesärenkaiseen verrattuna ja lähes kaksinkertainen nastarenkaiseen verrattuna. Suhteelliset erot olivat suurimmillaan silloin, kun kaduilla oli pölyä eniten (kuva 4) ja pienenivät kevään mittaan katujen puhdistuessa.

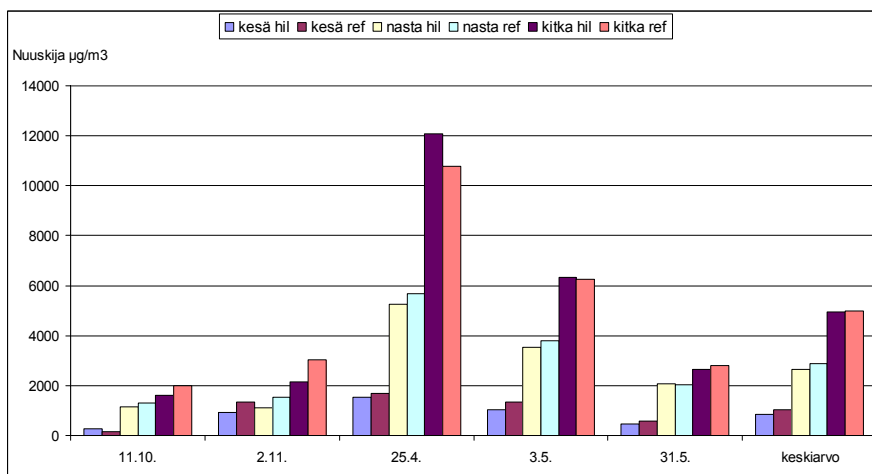
¹ Ympäristöministeriö, 2004: Meluntorjunnan valtakunnalliset linjaukset ja toimintaohjelma. Suomen ympäristö 696.

² Tervahattu, H., Kupiainen, K., Pirjola, L., Viinanen, J., 2007. Tutkimuksia katupölyn vähentämiseen tähtäävistä toimenpiteistä. KAPU-projektin loppuraportti. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2007 (painossa).

Tulos oli odottamaton ja antaa aihetta harkita uudelta näkökannalta kitka- ja nastarenkaan ympäristövaikutuksia.

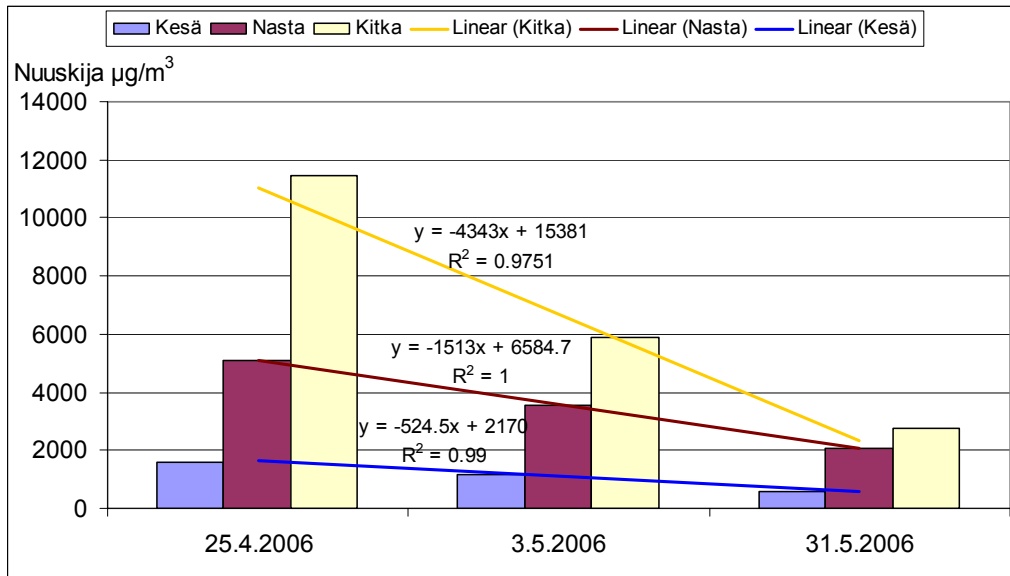


Kuva 2. Käytetyt kesä-, kitka- ja nastarenkaat.



Kuva 3. Kesä-, nasta- ja kitkarenkaiden vertailu Nuuskijalla tehdyissä pölymittauksissa 11.10.2005-31.5.2006.

Aineiston tarkempaa tutkimista varten se järjestettiin taulukoksi niin, että kitkarenkaan pitoisuudet kasvoivat pienimmästä suurimpaan (taulukko 1). Yhdelle riville merkittiin samalla mittauskerralla saatujen kitka-, nasta- ja kesärenkaiden emissioiden keskiarvot. Datapisteitä tuli siten $82 \times 3 = 246$. Jokaisessa datapisteessä on noin 10 mittauspistettä, joten koko aineisto käsittää yli 2000 mittauspistettä ja on siten varsin laaja.



Kuva 4. Eri rengastyypin Nuuskijalla mitatut pölypitoisuudet keväällä 2006. Kussakin pylväässä yhdistetty keskiarvo kaikista kyseisen päivän mittauksista hiljaisilta ja referenssipäällysteiltä.

Taulukko 1. Eri rengastyypin pölyemissioiden järjestäminen taulukoksi (selostus tekstissä).

nro	kitka	nasta	kesä
1	178,74	828,82	199,62
2	207,45	686,48	163,86
3	212,39	571,79	58,40
4	270,71	806,15	396,96
5	397,72	577,63	168,27
...
78	15274,24	8821,22	3383,28
79	18669,75	6303,55	2838,94
80	18901,88	8376,01	2314,29
81	20185,59	7529,99	2478,09
82	20837,66	6077,39	1904,11

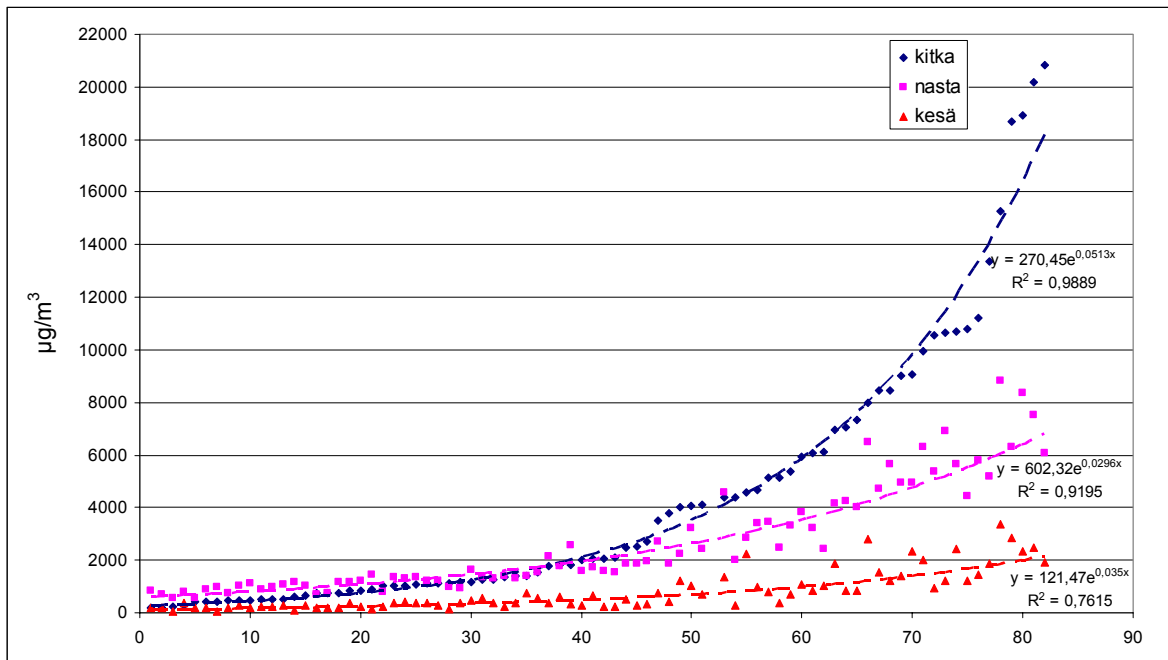
Näin saatu taulukko on esitetty graafisesti kuvassa 5. Siinä on x-akselina edellä selostetulla tavalla saadut järjestysluvut (taulukko 1, nro) ja se on samalla keinotekoisesti luotu akseli kadun pölypitoisuudesta, joka kasvaa oikealle mentäessä. Kuvasta nähdään, että

- Kesärenkaalla pölyemissio on aina pienempi kuin kitka- ja nastarenkaalla.
- Likaisella kadun pinnalla kitkarenkaan pölyemissio on suurempi kuin nastarenkaalla.
- Ero kitka- ja nastarenkaan välillä kasvaa moninkertaiseksi hyvin likaisella pinnalla.
- Kitkarenkaan emission ollessa $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nastarenkaan emissio on suunnilleen yhtä suuri.
- Alhaisilla pölypitoisuuksilla nastarenkaan emissio on suurempi kuin kitkarenkaan.

Tuloksista voidaan päätellä, että rengasemissio muodostuu kahdesta päätekijästä:
1. Siitä tien pinnalla olevasta pölystä, jonka rengas nostattaa ilmaan (re-emissio).

2. Renkaan aiheuttamasta tien pinnan kulumisesta (primääriemissio).

Re-emissio on suurempi kitkarenkaalla. Sen vaikutus ilmanlaatuun on monitahoinen. Toisaalta vaikeana katupölyaikana kitkarengas huonontaa ilmanlaatua nostaessaan enemmän pölyä ilmaan. Osa tästä pölystä kuitenkin kulkeutuu pois katu ympäristöstä tuulen ja auton aiheuttaman ilmavirtauksen mukana. Katukuiluissa tai muuten suljetuissa katuolosuhteissa pöly ei kuitenkaan pääse leviämään ympäristöön.



Kuva 5. Kitka-, nasta- ja kesärenkaan pölyemissiot kadun pinnan pölypitoisuuden funktiona: x-akseli keinotekoinen, selostus tekstissä.

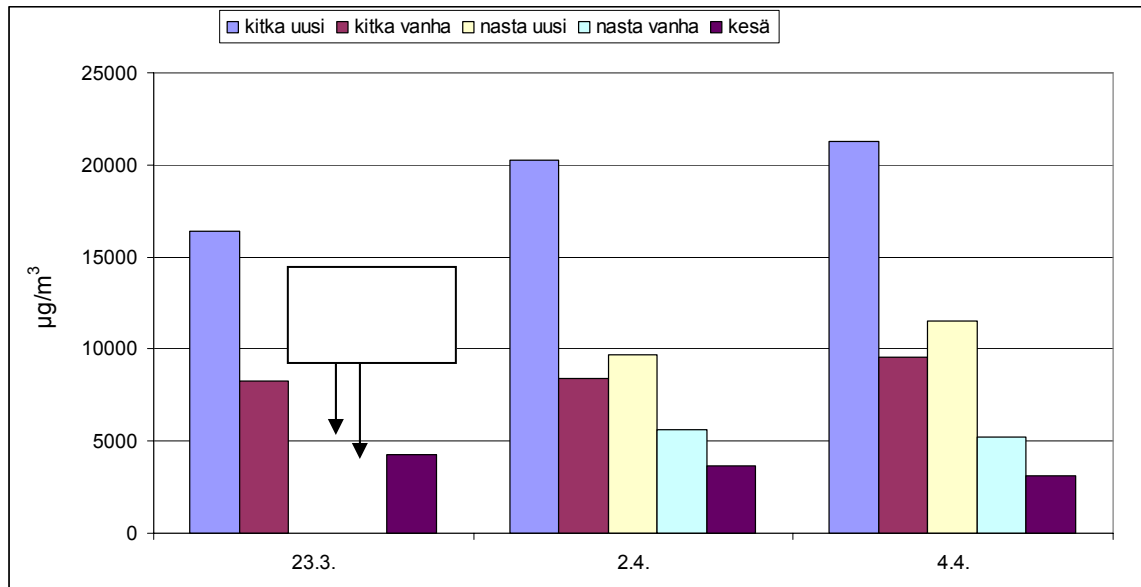
Eri rengastyypin erot ilmaan nousevan pölyn määrässä eivät ole aikaisemmissa tutkimuksissa tulleet ilmi samalla tavalla kuin tässä tutkimuksessa. Sen vuoksi on tarpeen selvittää ne syyt, joiden vuoksi kitkarengas tuottaa niin paljon pölyä ilmaan. Tässä arvioinnissa huomio on kohdistettava niihin kitkarenkaan ominaisuuksiin, joiden suhteen se poikkeaa kesä- ja nastarenkaista. Ne ovat samalla niitä ominaisuuksia, joihin kitkarenkaan pito-ominaisuudet perustuvat.

Näitä ominaisuuksia ovat runsas lamellointi ja pehmeämpi kumimateriaali. Olettamuksemme on havainnollistettu liitteessä 2. Kitkarenkaan koskettaessa tien pintaa renkaan lamellit painuvat kasaan ja lamellien välistä ilmaa puristuu pois. Kun renkaan kosketus irtoaa tien pinnasta, lamellien välit aukeavat ja väleihin virtaava ilma aiheuttaa imuvaikutuksen, joka nostaa hienojakoista pölyä tien pinnan koloista ilmaan. Tätä ilmiötä ei ole aikaisemmin tällaisessa yhteydessä tunnettu, joten annoimme sille nimen ”**imukuppiefekti**”. Nasta- ja kesärenkaalla ei tällaista vaikutusta ole tai se on paljon heikompi vähäisemmän lamelloinnin ja kovemman kumimateriaalin vuoksi.

On huomioitava, että VIEME-mittauksissa Nuuskijassa käytetyt renkaat on tarkoitettu henkilöautoihin, joiden painoluokitus on huomattavasti matalampi kuin Nuuskijan todellinen pyörämassa. Tällä saattaa olla vaikutusta imukuppiefektiin.

4 RENKAAN IÄN VAIKUTUS PÖLYEMISSIOON

Koska aikaisemmissa rengastyypin pölyemissioiden tutkimuksissa oli käytetty uusia renkaita, haluttiin selvittää, vaikuttaako renkaan ikääntyminen asiaan. Oletettiin, että esimerkiksi kitkarenkaan pölyemissio saattaa pienentyä ikääntymisen vaikutuksesta. Mittauksia tehtiin kevätpölykaudella kolmena päivänä Pirkkolantiella ja Konalantiella kitka- ja nastarenkailla.



Kuva 6. Uusien ja ”vanhojen” kitka- ja nastarenkaiden sekä kesärenkaiden pölyemissiot Nuuskijalla mitattuina kolmena päivänä kevätpölykaudella 2007.

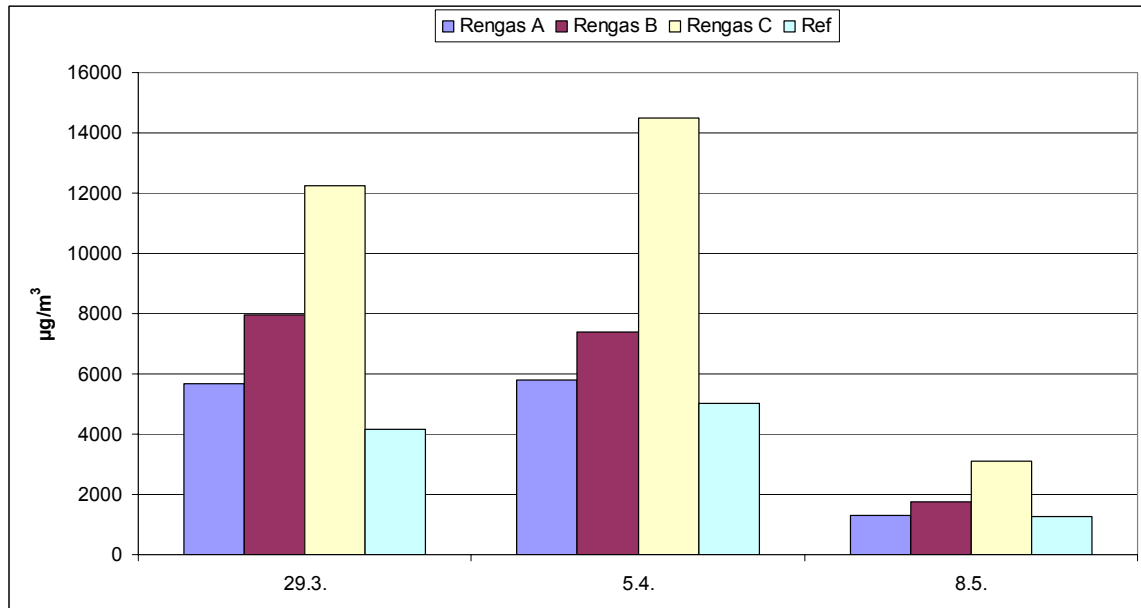
Kuvasta 6 nähdään, että sekä kitka- että nastarenkaalla pölyemissio pienenee noin puoleen ”vanhalla” renkaalla. Ero on yllättävän suuri, koska vanhat renkaat ovat vain vuoden vanhoja ja niillä on ajettu vain noin tuhat kilometriä. Tästä lienee pääteltävä, että renkaassa tapahtuu varsin pian valmistamisen ja/tai käyttöön oton jälkeen muutoksia, jotka vaikuttavat sen emissio-ominaisuuksiin. Ilmeistä on, että käytöstä riippumatta tapahtuu suoja-aineiden haihtumista ja vulkanoinnin kemiallisia muutoksia, jotka vaikuttavat renkaan pinta- ja jousto-ominaisuuksiin. Myös lamellien väleihin kertyvät epäpuhtaudet saattavat vaikuttaa lamellien toimintaan heikentäen imukuppiefektiä.

5 ERI RENGASVALMISTAJIEN RENKAIDEN PÖLYEMISSIOT

Koska eri rengastyypin välisiä eroja tutkittaessa käytettiin vain yhden valmistajan renkaita, oli tarpeen tutkia, onko eri rengasvalmistajien renkaiden tuottamissa hengitettävän pölyn emissioissa eroja. Tätä varten valittiin kolmen valmistajan kitkarenkaat, joiden emissioita mitattiin Nuuskijalla keväällä 2007 kolme kertaa: 29.3. ja 5.4. Pirkkolantiella, Konalantiella ja Kolkekannaksentiellä / Lippajärventiellä sekä 8.5. Pirkkolantiella ja Kolkekannaksentiellä / Lippajärventiellä. Kaikissa kohteissa mittaukset tehtiin kitkarenkaalla sekä hiljaisella että referenssipäällysteellä. Vertailurenkaana tutkittiin Nuuskijassa vuonna 2007 käytettyjä vähän ikääntyneitä kitkarenkaita, jotka olivat eri kokoa (225/70 R 15) kuin tutkitut renkaat (235/70 R 16).

Tulokset on esitetty kuvassa 7. Siinä on kaikissa tapauksissa yhdistetty hiljaisen ja referenssipäällysteen tulokset, sillä päällystetyyppi ei vaikuttanut eroihin.

Rengasmerkkien välillä on merkittäviä eroja. Niiden syy ei ole tiedossa. Todennäköisenä on pidettävä, että renkaan ikä (mitattuna viikoissa valmistuksesta) selittäisi ainakin osan eroavaisuuksista. Tätä tukee ikääntyneen referenssirenkaan mittaustulos, joka on pienin, mutta ei merkittävästi pienempi kuin renkaiden A ja B. Rengas C oli mittausten aikana hyvin tuore. Lisäksi todennäköisenä on pidettävä, että jääpito ja pölyn nostaminen ovat toisilleen vastakkaisia ominaisuuksia kumin pehmeiden kautta, mikä saattaa selittää osan eroista. Myös eri valmistajien renkaiden lamelloinnissa saattaa olla eroja, jotka ovat vaikuttaneet pölyemissioihin.



Kuva 7. Eri rengasvalmistajien renkaiden pölyemissioita Nuuskijalla mitattuina kevätpölykaudella 2007. Referenssi on saman valmistajan kuin rengas C, mutta vähän ikääntynyt ja eri kokoa (225/70 R 15 vs. 235/70 R 16).

Kyseessä on uusi parametri, joka ei tällä hetkellä ole suunnittelukriteeri. Mittauksen tarkoituksena oli kartoittaa tutkimusongelman luonnetta ja laajuutta. Ilman pölyn nostomekanismien tunnistamiseen keskittyvää tutkimusta ja teoreettista ymmärrystä ei näin suppean aineiston perusteella voida varmasti ottaa kantaa edes eri rengasvalmistajien tuotteiden keskinäiseen järjestykseen tai esittää toiveita renkaiden tuotekehitystavoitteista. Suosituksena on, että jatkossa renkaita vertailevat mittaukset tulee tehdä useita tuhansia kilometrejä ja useita kuukausia vanhoilla rengasyksilöillä. Vasta sellaisilla renkailla tehdyistä tuloksista voidaan esittää tarkempia johtopäätöksiä. Tutkimusryhmälle renkaiden isot erot ja erityisesti mahdollinen aivan tuoreen renkaan eroavaisuus olivat yllätyksiä, joiden teknistä merkitystä ei kyetä vielä arvioimaan.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

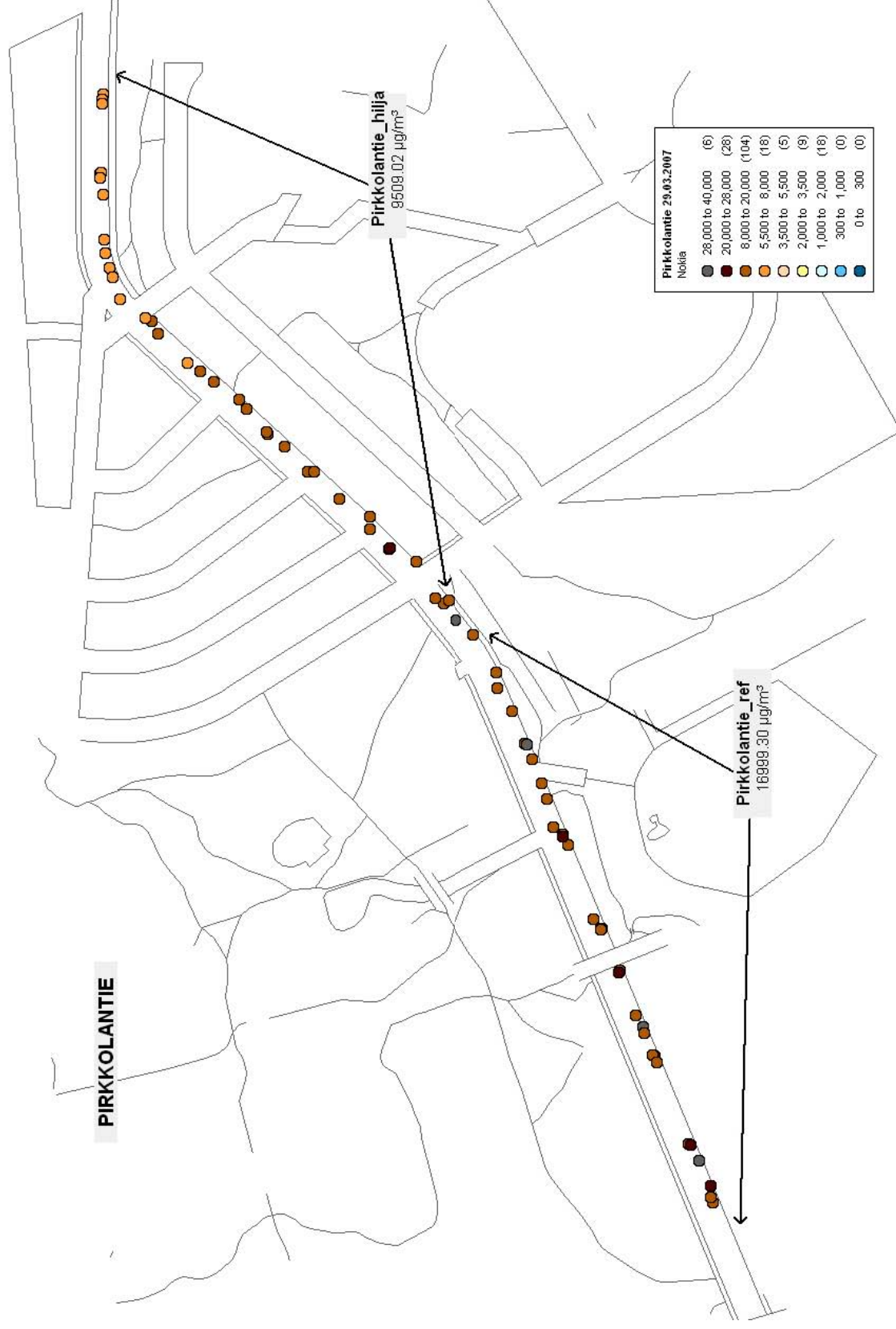
Hiljaisten päällysteiden pölypäästöt olivat alempia kuin vertailupäällysteiden. Tämä johtunee siitä, että ne pinnaltaan tasaisempina "varastoivat" vähemmän pölyä. Hiljaisten päällysteiden avulla voidaan siten jonkin verran vähentää katupölyongelmaa. Lisäviitteitä hiljaisten päällysteiden pölyä alentavista vaikutuksista saatiin Vantaalla SMA11-päällysteistä, joilla mitattiin karkeampiin päällysteisiin verrattuna alhaisempia

pölypitoisuuksia ja joiden melutaso oli kokemusperäisten havaintojen mukaan normaalia alhaisempi.

Renkaan pölyemissio muodostuu kahdesta päätekijästä: (A) siitä tien pinnalla olevasta pölystä, jonka rengas nostattaa ilmaan (re-emissio) ja (B) renkaan aiheuttamasta tien pinnan kulumisesta (primääriemissio).

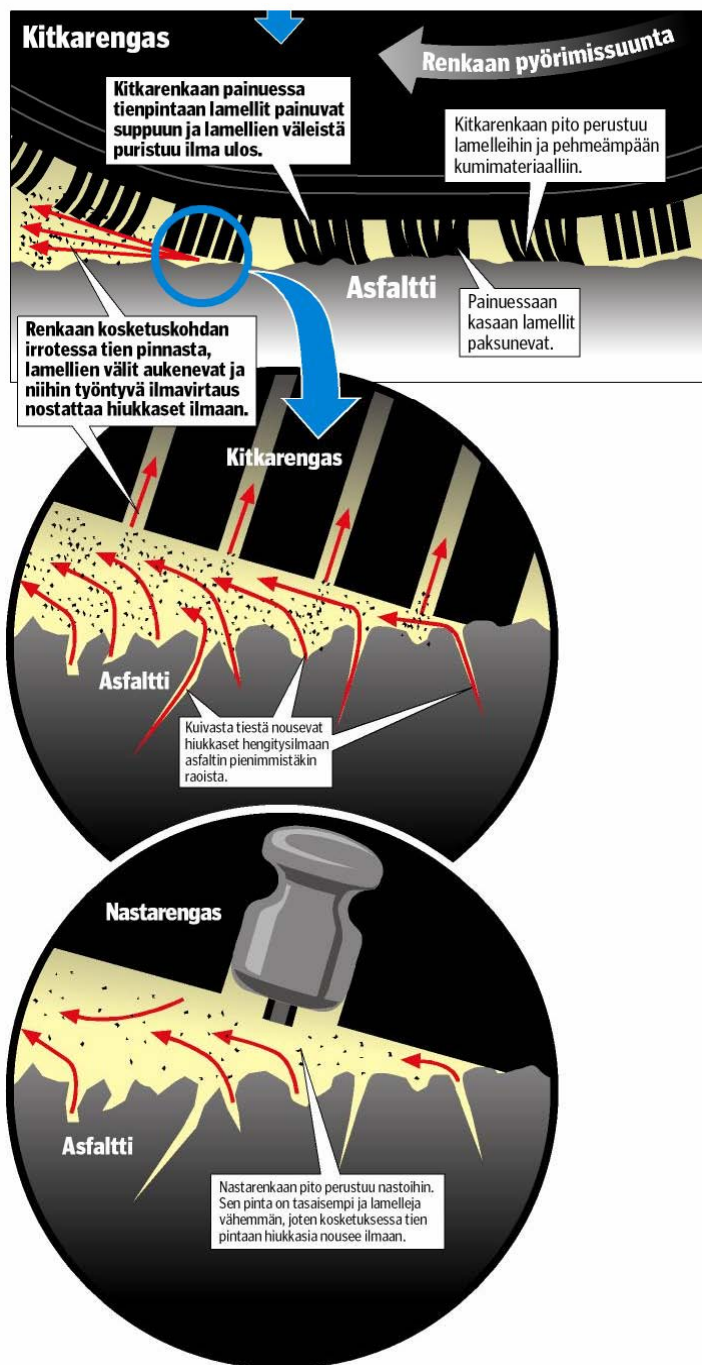
Kesärenkaalla pölyemissio oli aina pienempi kuin kitka- ja nastarenkaalla. Likaisella kadun pinnalla kitkarenkaan pölyemissio oli suurempi kuin nastarenkaalla, koska kitkarenkaalla re-emissio on suurempi ja ilmaan nousevaa pölyä on paljon. Tämä ero kasvaa moninkertaiseksi hyvin likaisella pinnalla. Alhaisilla pölypitoisuuksilla nastarenkaan aiheuttama tien pinnan kulumisemissio tulee hallitsevaksi, jolloin nastarenkaan kokonaisemissio on suurempi kuin kitkarenkaan.

Sekä kitka- että nastarenkaalla pölyemissio pienenee noin puoleen varsin vähäisen käytön ja/tai ikääntymisen jälkeen. Myös eri rengasvalmistajien kitkarenkaiden hengitettävän pölyn emissioissa havaittiin huomattavia eroja.



Liite 1. Pölyemissiomittauksia kitkarenkailla Pirkkolantiella 29.3.2007. Hiljaisen ja referenssipäällysteen ero on tässä tapauksessa poikkeuksellisen suuri.

Liite 2. Havainnekuva imukuppiefektistä.
© Presso-lehti.



Kiviainesten raekoon, muodon ja geologisten ominaisuuksien vaikutus hiljaisten asfalttien kulumiseen



Mikrokiteinen hapan vulkaniitti. Kelkkämäki, Saarijärvi.

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	58
1.1 Päälystekiviainesten geologiset ominaisuudet	58
1.2 Mekaanis-fysikaaliset ominaisuudet	58
2 Asfalttipäällysteiden kulutuskestävyyden tutkiminen	59
2.1 Kiviainesten testaaminen	59
3 Tutkimusnäytteet	59
3.1 Näytteiden käsittely	60
4 Tulokset	61
4.1 Näytteiden kuvaus	61
4.2 Testitulokset	64
5 Tulosten tarkastelu	66
6 Johtopäätökset	67
Viitteet	67

1 JOHDANTO

Asfalttipäällysteiden tilavuudesta on tyypillisesti yli 90 % kivimursketta, minkä lisäksi ne sisältävät bitumia sekä erilaisia side- ja täyteaineita. Asfalteissa käytettävien materiaalien määrasuhteet ja ominaisuudet kuten kiviaineksen raekoko vaihtelevat asfalttityypeittäin. Päällystekiviaineksilta edellytettyjen kulutuskestävyys- ja muoto-ominaisuuksien (PANK 2007) testaamiseen käytetään standardoituja testimenetelmiä (Suomen standardoimisliitto 2003), jotka on kulutuskestävyyden osalta määritelty yleisimmissä asfalttityypeissä käytettäville verrattain karkearakeisille 11/16 mm raekokolajitteille.

Tässä tutkimuksessa testejä on sovellettu 8/11 mm ja 4/8 mm lajitteiden kulutuskestävyyden mittaamiseen. Tutkimuksessa selvitetään kiviainesten mekaanis-fysikaalisten ja geologisten ominaisuuksien vaikutusta hienorakeisten kiviaineslajitteiden kulumiseen, mikä puolestaan rinnastuu katupölyn muodostumismääriin. Tuloksia voidaan hyödyntää arvioitaessa eri kivilajien soveltuvuutta hiljaisten asfalttien tai muiden hienorakeisista kiviaineksista valmistettujen päällysteiden raaka-aineeksi.

1.1 Päällystekiviainesten geologiset ominaisuudet

Kiviainesten geologiset ominaisuudet muodostavat tärkeimmän asfalttipäällysteiden kulutuskestävyyteen vaikuttavan tekijän (esim. Kurki ym. 1992). Erityisen tärkeitä ovat mineraalikoostumus sekä mineraalien muoto ja raekokojakauma; varsinkin hienorakeisen perusmassan suhteellinen osuus (Lundqvist and Göransson 2001, Räisänen ym. 2003). Eri kivilajeille tehtyjen kestävyyskokeiden perusteella kiviainesten kyky vastustaa sekä raapivaa että iskevää kulutusta kasvaa lähes eksponentiaalisesti keskimääräisen mineraalikoon pienentyessä (Brattli 1992, Miskovsky ym. 2004).

Mineraalien muoto-ominaisuudet ovat toinen tärkeä tekijä, erityisesti mineraalien välisten rajapintojen muoto. Suorat rajapinnat muodostavat kiviin mekaanisia heikkousvyöhykkeitä (esim. Åkesson ym. 2003), mikä tulee korostuneesti esiin voimakkaasti suuntautuneilla kivilajeilla kuten kiilleliuskeilla. Tärkein yksittäinen kiviainesten kulutuskestävyyteen vaikuttava tekijä on kuitenkin mineraalikoostumus (Lundqvist and Göransson 2001, Åkesson ym. 2003, Räisänen 2004). Kulutuskestävältä kiviainekselta edellytetään lujan tekstuurin lisäksi kovista mineraaleista kuten kvartsista koostuvaa perusmassaa, jossa on lisäksi useita tilavuusprosentteja tekstuuria muokkaavia ja vahvistavia mineraaleja kuten kiillettä tai amfibolia.

1.2 Mekaanis-fysikaaliset ominaisuudet

Päällysteiden kulutuskestävyyteen vaikuttavista mekaanis-fysikaalisista ominaisuuksista (vrt. geologiset ominaisuudet) tärkeimpiä ovat kiviaineksen raekoko ja kivirakeiden muoto (Saarela 1992). Raekoko on kääntäen verrannollinen näytteen kokonaispinta-alaan: pienistä kivirakeista koostuvilla näytteillä on enemmän suhteellisesti kulutuspinntaa kuin suurista rakeista koostuvilla. Litteät kivirakeet puolestaan murtuvat pyöreitä rakeita helpommin ja niistä valmistetut asfaltit ovat alttiimpia deformaatiolle. Tiepintojen

kulumiseen vaikuttaa lisäksi laaja joukko ulkoisia tekijöitä esimerkiksi liikennemäärä ja ajonopeus, jotka on huomioitava kulumistutkimuksia ja -ennusteita tehtäessä. Yksi tärkeimmistä on tiepinnan märkyys: märkä pinta kuluu monin verroin kuivaa pintaa voimakkaammin (Folkeson 1992). Liukkauden torjuntaan käytetty teiden suolaus vaikuttaa tämän johdosta huomattavasti tienpintojen kulumiseen. Pölyn muodostuksen kannalta merkittävä tekijä on hiekoitushiekasta ja nastarengaskulutuksessa tienpinnasta irronneen hienoaineksen aiheuttama hiontavaikutus (Kupiainen ym. 2003, Räisänen 2004).

2 ASFALTTIPÄÄLLYSTEIDEN KULUTUSKESTÄVYYDEN TUTKIMINEN

Asfalttipäällysteiden kulutuskestävyyttä voidaan mitata päällysteiden uramittauksilla ja tutkia suoraan asfaltista otettujen poranäytteiden avulla tai epäsuorasti päällystekiviainesten ominaisuuksien kautta. Asfalttinäytteiden suora tutkiminen tapahtuu esimerkiksi Prall- (SFS EN 12697-16 A) tai SRK- (SFS EN 12697-16 B) menetelmillä, jotka korreloivat tiellä tapahtuvan kulumisen kanssa, mutta eivät kaikkien hiljaisten päällysteiden osalta (Raitanen 2005). Asfalttinäytteiden tutkiminen voi toisinaan olla ongelmallista, koska asfalttien tarkka koostumus on viime kädessä valmistajien yksityistä tietoa. Kiviainesten kohdalla ei tätä ongelmaa ole, minkä lisäksi testeihin vaikuttavien muuttujien määrä on oleellisesti pienempi. Kiviainesten kulutuskestävyyden vahva korrelaatio päällysteiden kulumisen kanssa on todettu käytännön olosuhteissa ja lisäksi osoitettu useissa tutkimuksissa (esim. Kurki 1992).

2.1 Kiviainesten testaaminen

Asfalttikiviainesten kulutuskestävyyden testaaminen tapahtuu standardoiduilla testimenetelmillä, joilla mitataan esimerkiksi kiviainesten kykyä vastustaa nastarengaskulutusta (kuulamylykoe, SFS EN-1097-9) ja niiden iskunkestävyyttä (Los Angeles –testi, SFS EN-1097-2). Kiviainesten muotoa puolestaan kuvataan litteysluvulla (SFS EN-933-3), joka ilmaisee litteiden rakeiden suhteellisen osuuden näytteessä. Kulutuskestävyyttä mittaavat testit on määritelty yleisimmissä asfalttityypeissä käytettäville verrattain karkearakeisille, 11/16 mm raekokolajitteille eivätkä ne anna luotettavaa kuvaa hienorakeisemmista lajitteista valmistettujen päällysteiden kulutuskestävyydestä. Kiviainesten ominaisuudet eivät nimittäin muutu lineaarisesti lajitteiden raekoon myötä ja eri kivilajien välillä on tässä suhteessa huomattavia eroja (Räisänen 2004). Kuulamylykokeen (SFS EN-1097-9) laajentamista koskemaan hienorakeisia kiviainesfraktioita on esitetty Euroopan standardisoimiskomitealle (CEN), mutta toistaiseksi ei ole olemassa standardoituja testimenetelmiä esimerkiksi hiljaisten päällysteiden kiviaineksille, jotka tyypillisesti koostuvat alle 8 mm raekokolajitteista.

3 TUTKIMUSNÄYTTEET

Tämän työn tutkimusmateriaali kerättiin kuudelta kalliokiviaineslouhokselta eri puolilta Suomea. Tärkeä kriteeri kohteiden valinnassa oli kiviainesten laatu: kaikista kohteista on pitkän aikavälin seurannassa tuotettu laatuluokkien I ja II päällystekiviaineita (PANK 2007). Toinen vertailevan tutkimuksen kannalta tärkeä kriteeri on kohteiden erilaisuus:

tutkimusnäytteiden tulee poiketa riittävästi toisistaan koostumuksen ja sisäisten rakenteiden eli tekstuurin puolesta. Tutkimukseen valittiin kolme pienikiteistä graniittia (Malmgård, Koskenkylä ja Haukkavuori) sekä kolme mikrokiteistä vulkaniittia, joista yksi (Kelkkamäki) on hapan (runsaasti kvartsi-mineraalia) ja kaksi (Patavuori ja Haarumäki) emäksisiä tai intermediäärisiä (vähän kvartsia, runsaasti amfibolia/pyrokseenia).

3.1 Näytteiden käsittely

Tutkimusnäytteet koostuvat louhoksilla valmistetuista 4/8 mm, 8/11 mm ja 11/16 mm kiviaineslajitteista. Lajitteiden tarkat raekokovälit ilmenevät *taulukosta 1*. Vähäiset poikkeamat oletetuista raekokoväleistä korjattiin seulomalla näytteet laboratoriossa ennen testinäytteiksi jakamista. Standardin mukaisesta 11/16 mm lajitteesta mitattiin kuulamylyarvo (A_N) noudattaen menetelmää SFS EN-1097-9 ja standardista poikkeaville 8/11 mm ja 4/8 mm lajitteille sovellettiin *taulukossa 1* esitettyä raekokojakoa. Kiviainesten muodon vaikutusta kuulamylykokeen tuloksiin tutkittiin mittaamalla A_N -arvo myös välppäseulotuista näytteistä. Välppäminen poistaa näytteestä litteitä kivirakeita ja tuo paremmin esille geologisten ominaisuuksien vaikutusta. Testinäytteistä määritettiin litteysluku (FI) menetelmän SFS EN-933-3 mukaisesti, mutta 4/8 mm ja 8/11 mm raekokolajitteiden kohdalla käytettiin osittain standardista poikkeavia seulakokoja (*taulukko 1*). Näytteiden tekstuuri sekä pää- ja hivenmineraalien tunnistaminen ja laskeminen tehtiin polarisaatiomikroskoopin avulla kiillotetuista ohuthieistä.

Taulukko 1. Raekokolajitteiden katkaisuvälit (mm) ja määräosuudet kuulamylykokeen testinäytteissä sekä litteyslukumäärityksessä käytettyjen välppäseulojen raekoko (mm).

Kuulamylykoe (testinäyte)	4/8 mm (katkaisuväli)	8/11 mm (katkaisuväli)	11/16 mm (katkaisuväli)
65%	4/6,3	8/10	11,2/14
35%	6,3/8	10/11,2	14/16
Litteyslukumääritys (välppäseula, mm)			
3,15	4/6,3		
4	6,3/8		
5		8/10	
6,3		10/11,2	11,2/12,5
8			12,5/16

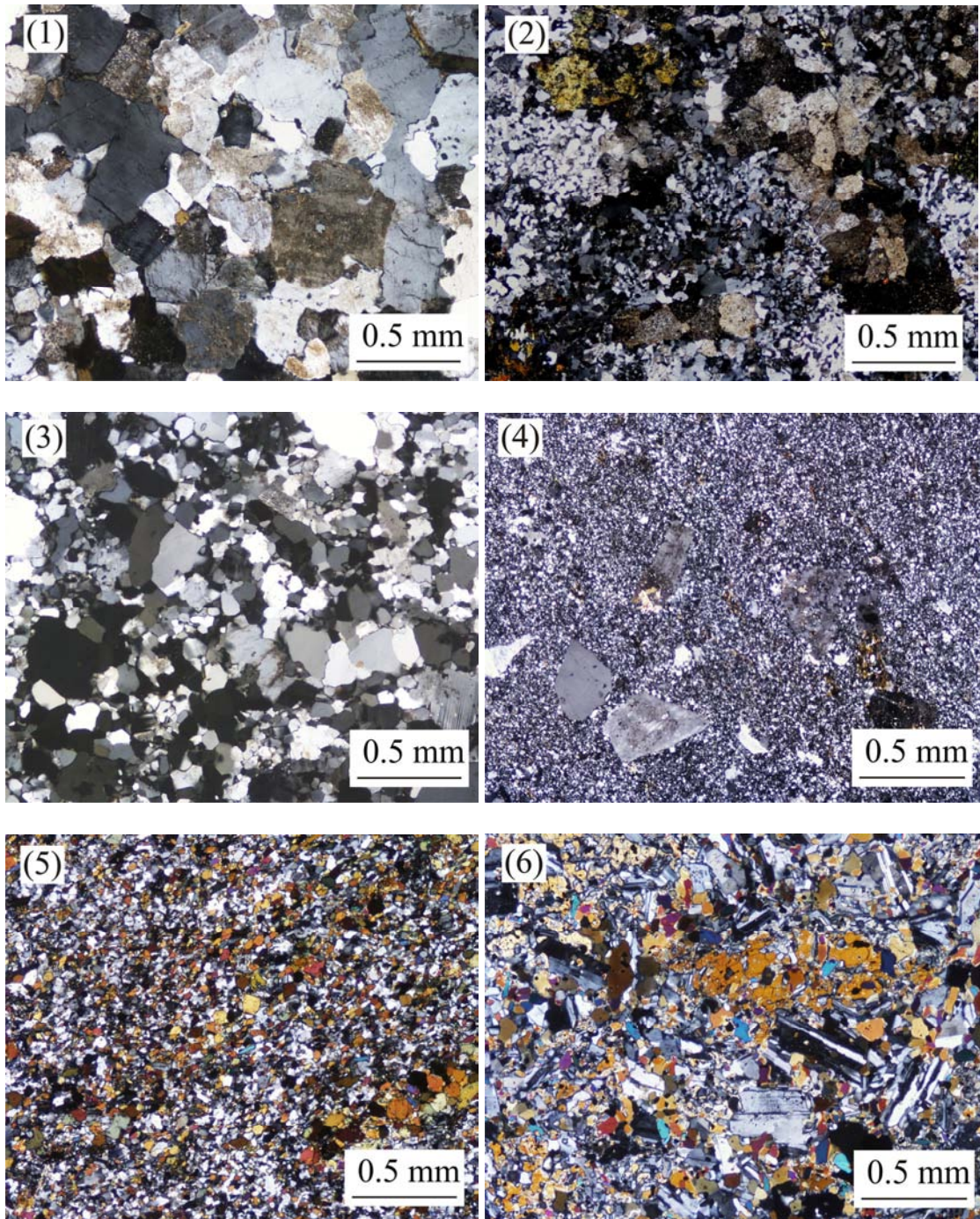
4 TULOKSET

4.1 Näytteiden kuvaus

Tutkittujen näytteiden mineraalikoostumukset määräsuhteineen on esitetty *taulukossa 2*. Näytteiden tekstuuri ja raekokojakauma ilmenevät mikroskooppikuvista (*kuva 1*) sekä ohessa olevasta geologisesta kuvauksesta. *Pienikiteisellä* tarkoitetaan tässä kiveä, jonka mineraalikiteiden keskimääräinen koko on alle 1 mm, ja *mikrokiteisellä* kiveä, jonka yksittäiset mineraalikiteet eivät ole paljain silmin erotettavissa. *Tasarakeinen* viittaa kiveen, jonka mineraalikiteet ovat pääosin yhden kokoisia. Vastaavasti *porfyyrinen* on vulkaniiteille tyypillinen tekstuuri, jossa pieni- tai mikrorokiteisessä perusmassassa on yksittäisiä, suurempia mineraalikiteitä eli *hajarakeita*.

Taulukko 2. Tutkimusnäytteiden mineraalikoostumus (til-%). (+) = mineraalia hivenmääriä, (-) = mineraalia ei näytteessä havaittu.

(Til-%)	Malmgård Graniitti	Koskenkylä graniitti	Haukkavuori graniitti	Kelkkämäki hapan vulkaniitti	Haarumäki Emäksinen / intermediäärinen vulkaniitti	Patavuori emäksinen vulkaniitti
Kvartsi	38	31	40	38	6	+
Plagioklaasi	31	21	20	23	55	48
Kalimaasälpä	23	25	34	27	-	-
Biotiitti	5	11	5	8	-	-
Amfiboli	-	8	-	-	30	37
Pyrokseeni	-	-	-	-	-	12
Muskoviitti	+	+	+	3	-	-
Kloriitti	3	3	+	+	+	+
Epidootti	+	1	-	+	5	1
Titaniitti	-	+	-	-	3	1
apatiitti	+	+	+	+	1	+
Karbonaatti	-	+	+	+	+	+
Fluoriitti	-	-	1	-	-	-
Pyriitti	-	-	-	-	+	1
Magnetiitti	+	-	-	-	-	-



Kuva 1. Tutkittujen kiviläytöiden polarisaatiomikroskooppikuvat. (1) Malmgård, (2) Koskenkylä, (3) Haukkavuori, (4) Kelkkämäki, (5) Haarumäki, (6) Patavuori. Huomaa erot mineraalien kokojakaumassa ja tekstuurissa graniittien (1-3) ja vulkaniittien (4-6) välillä. Polarisoidun valon esille tuomia piirteitä, esimerkiksi karakteristisia värejä, käytetään mineraalien tunnistamiseen.

Malmgård

Malmgårdin louhos sijaitsee Pernajassa noin 15 km kunnan keskustasta pohjoiseen. Tutkimusnäyte edustaa louhoksen pääkivilajia, punaharmaata, suuntautumaton, pienikiteistä, graniittia, jonka päämineraalit ovat kvartsi, plagioklaasi, kalimaasälpä, biotiitti ja kloriitti. Päämineraalien raekoko vaihtelee 0,1–2,0 mm välillä. Mineraalitekiteiden rajapinnat ovat pääasiassa aaltoilevia, jopa laguunimaisia; kiven tekstuuri on tasarakeinen.

Koskenkylä

Koskenkylän louhos sijaitsee Pernajan kunnassa noin 8 km kunnan keskustasta pohjoiseen. Koskenkylän louhoksella esiintyy useita kivilajiyksiköitä, joista tämän työn näyte edustaa suuntautumaton, pienikiteistä graniittia, jolla on graafisesti yhteenkasvettuneesta kvartsista ja maasälvistä koostuva tiivis perusmassa (kuva 1). Mikro-/pienikiteisen (0,01–0,2 mm) perusmassan tekstuuri muistuttaa vulkaniittia siinä esiintyvien suurempien (0,5–2,0 mm) maasälpä- ja amfibolitekiteiden johdosta. Mineraalitekiteiden rajapinnat ovat pääasiassa aaltoilevia tai suoria

Haukkavuori

Haukkavuoren louhos sijaitsee Jämsässä, entisen Längelmäen kunnan alueella, noin 25 km kaupungin keskustasta lounaaseen. Tutkimusnäyte edustaa louhoksen pääkivilajia: punaista, hienorakeista, voimakkaasti suuntautunutta graniittia, jonka päämineraalit ovat kvartsi, kalimaasälpä, plagioklaasi ja biotiitti. Päämineraalien koko vaihtelee 0,1–1,0 mm välillä. Kiven tekstuurissa on merkkejä voimakkaasta hirtymisestä; kvartsi esiintyy siinä nauhamaisina kasaumina ja biotiitti on selvästi deformatunut. Mineraalitekiteiden rajapinnat ovat pääasiassa suoria tai loivasti aaltoilevia, kiven tekstuuri on tasarakeinen ja selvästi suuntautunut.

Kelkkämäki

Kelkkämäen louhos sijaitsee Saarijärvellä noin 10 km kaupungin keskustasta luoteeseen. Tutkimusnäyte edustaa louhoksen pääkivilajia: mikrokiteistä hapanta vulkaniittia, jonka päämineraalit ovat kvartsi, plagioklaasi, kalimaasälpä ja biotiitti. Kivi on porfyyrinen eli mineraalien kokojakaumaltaan kaksihuippuinen: mikrokiteisessä (<0,03 mm) perusmassassa on tasaisesti levittäytyneenä suurempia (0,3–3,0 mm) mineraalitekiteitä, joiden rajapinnat ovat voimakkaasti aaltoilevia ja lahdelmaisia.

Haarumäki

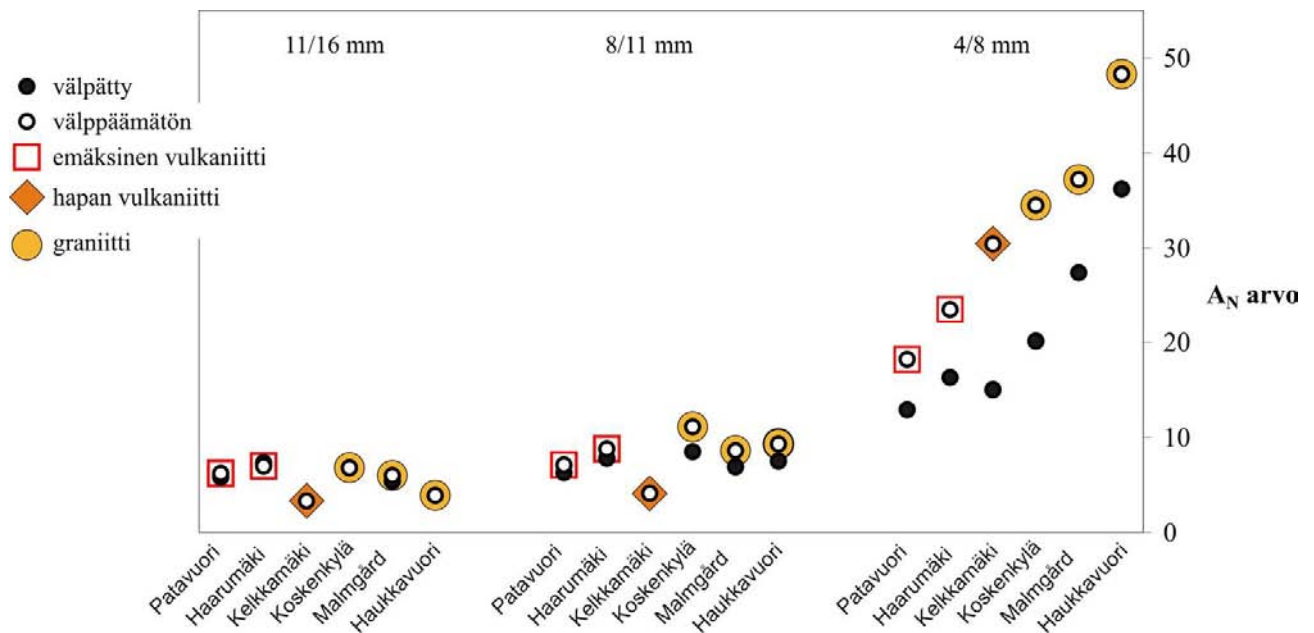
Haarumäen louhos sijaitsee Hyvinkäällä Kytjärven eteläpuolella noin 15 km kaupungin keskustasta länteen. Tutkimusnäyte edustaa louhoksen pääkivilajia: mikrokiteistä, emäksistä vulkaniittia. Se on selvästi suuntautunut, raitainen kivi, jonka päämineraalit ovat plagioklaasi ja amfiboli, joiden lisäksi perusmassassa on kvartsia ja epidootia. Mikroskooppikuvassa näkyy perusmassan granoblastinen eli säännöllinen verkkomainen rakenne sekä tumman amfibolin ja vaalean plagioklaasin määräsuhteiden vaihtelusta aiheutuva raitaisuus. Mineraalirajat ovat pääasiassa suoria, mutta epidootin kiteytyminen päämineraalien väleihin sitoo tekstuuria lujemmaksi.

Patavuori

Patavuoren louhos sijaitsee Valkeakoskella, noin 10 km Toijalan keskustasta kaakkoon. Alueelta louhitaan pieni- / mikrokiteistä emäksistä vulkaniittia. Tutkimusnäyte edustaa heikosti suuntautunutta laavakiveä, jossa ei ole havaittavia kerrosrakenteita. Kiven päämineraalit ovat amfiboli ja plagioklaasi, joiden lisäksi siinä on jonkin verran pyrokseenia ja epidootia sekä vähäisissä määrin kvartsia. Plagioklaasikiteiden muodostama tukkisumarakenne tekee kiven tekstuurista erittäin lujan. Päämineraalien rajapinnat ovat pääosin hammasmaisia.

4.2 Testitulokset

Kuulamylykokeiden tulokset on esitetty *taulukossa 3* ja graafisesti *kuvaajassa 1*, näytteiden litteysluvut on esitetty *taulukossa 3*. On edelleen korostettava, että 8/11 mm ja 4/8 mm fraktioiden kuulamylytuloksia ei pidä verrata standardinäytteille määritettyyn kiviainesten laatuluokitteluun (PANK 2007), eivätkä eri raekokolajitteiden A_N -arvot ole suoraan rinnastettavissa toisiinsa syystä, joka on esitetty *kappaleessa 2.1*. Tuotannon aikaiset prosessit kuten räjäytys ja murskaaminen (Räisänen ja Mertamo 2004) voivat aiheuttaa näytteisiin louhoskohtaista vaihtelua, joka ei ole vertailevan tutkimuksen kannalta helposti hallittavissa. Erityisesti hienorakeiset 8/11 mm ja 4/8 mm kiviaineslajitteet eivät välttämättä ole muoto-ominaisuuksiltaan louhosten päätuotteita edustavien 11/16 mm lajitteiden veroisia.



Kuvaaja 1. Testinäytteiden kuulamylyarvot (A_N) eri raekokolajitteissa.

Eri louhoksilla valmistettujen murskeiden raekokojakaumat eivät myöskään ole täysin identtisiä, mutta suuruusluokka on kaikissa näytteissä hyvin samankaltainen. Erityisesti välppäseulotut testinäytteet voidaan olettaa vertailukelpoisiksi myös 4/8 mm ja 8/11 mm

testifraktioissa, toisin sanoen niiden A_N -arvot kuvaavat eroja kiviainesten geologisissa ominaisuuksissa. On kuitenkin muistettava, että tulokset edustavat vain tämän työn testinäytteitä, eivät louhoksia, joilta ne on kerätty. Esimerkiksi Koskenkylän louhoksella, jolla esiintyy huomattavaa kivilajivaihtelua, tavataan kivilajiyksiköitä, jotka ovat hienorakeisina lajitteina tämän työn tutkimusnäytettä kulutuskestävämpiä.

Testifraktio 11/16 mm

Testifraktion 11/16 mm A_N -arvot lankeavat välille 3,3–6,0 eli asfalttinormien (PANK 2007) perusteella kaikki näytteet sijoittuvat laatuluokkaan I ($A_N \leq 7$), mikä oli pohjatietojen perusteella odotettavaakin. Välppäseulottujen ja välppäämättömien näytteiden tuloksissa ei ole merkittäviä eroja, eikä eri kivilajeja voi tulosten perusteella erottaa toisistaan. Tämä on osittain seurausta siitä, että 11/16 mm testinäytteet edustavat louhosten päätuotteita, joiden valmistuksessa muotoon on kiinnitetty erityistä huomiota. Muodon osalta näytteet ovatkin I-luokkaisia ($FI \leq 10$).

Taulukko 3. Testinäytteiden litteysluvut (FI) sekä välppäseulottujen testinäytteiden kuulamylyarvot (A_N) eri raekokolajitteissa . Välppäämättömien testinäytteiden A_N -arvot sulkeissa.

	Malmgård	Koskenkylä	Haukkavuori	Kelkkämäki	Haarumäki	Patavuori
A_N 4/8	27,4	20,1	36,2	15,0	16,3	12,9
	(37,2)	(34,5)	(48,3)	(30,4)	(23,5)	(18,2)
FI	22	31	15	29	17	17
A_N 8/11	6,9	8,5	7,5	4,2	7,8	6,3
	(8,6)	(11,1)	(9,3)	(4,1)	(8,8)	(7,1)
FI	12	26	11	10	8	11
A_N 11/16	5,4	6,8	3,9	3,3	7,3	5,8
	(6,0)	(6,8)	(3,9)	(3,3)	(7,0)	(6,2)
FI	3	6	8	6	4	9

Testifraktio 8/11 mm

Testifraktion 8/11 mm A_N -arvot lankeavat välille 4,1–11,1 ja välpättyjen näytteiden arvot välille 4,2–8,5. Tulokset eivät suuremmasta hajonnasta huolimatta merkittävästi eroa 11/16 mm testifraktion tuloksista eivätkä eri kivilajit ole tämänkään aineiston perusteella erotettavissa toisistaan. Välpättyjen näytteiden arvot ovat kuitenkin pääasiassa välppäämättömien näytteiden arvoja hieman paremmat. Tämän perusteella muodon vaikutus näyttäisi tulevan esille etenkin graniittinäytteiden kohdalla, vaikka litteyslukujen puolesta (FI 10 ja 11) ne eivät yhtä lukuun ottamatta (FI 26) oleellisesti poikkeakaan tutkituista vulkaniiteista (FI 8-11). Graniittien heikompi tekstuuri tulee tässä suhteessa esille vulkaniitteihin verrattuna, jotka välppäämättöminäkin kestävät kuulamylykulutusta yhtä hyvin kuin välppäseulotut graniitit.

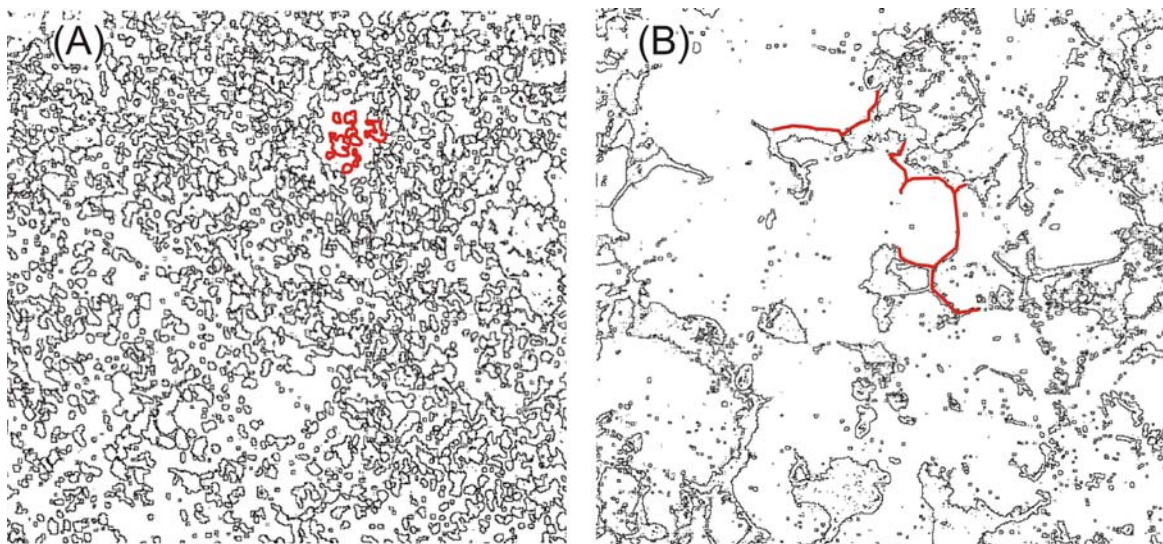
Testifraktio 4/8 mm

Testifraktion 4/8 mm A_N -arvoissa on huomattavaa vaihtelua sekä välppäämättömien (18,2–48,3) että välpättyjen (12,9–36,2) näytteiden osalta. Myös litteyslukujen hajonta (15–29) on suuri. Kuulamylytulosten ja litteyslukujen välillä ei kuitenkaan ole korrelaatiota, mikä puoltaa tekstuurin ja mineralogisten ominaisuuksien merkitystä A_N -

arvojen vaihteluun muoto-ominaisuuksien asemasta. Erityisesti välppäseulotut näytteet jakautuvat selvästi kahteen populaatioon: graniitit, joilla $A_N > 20$ ja tulosten hajonta suuri (20,1–36,2), ja vulkaniitit, joilla $A_N < 20$ ja tulosten hajonta pieni (12,9–16,3). Yksittäisten näytteiden kohdalla välppäämättömien ja välppätyjen A_N -arvojen huomattavat erot osoittavat, että muoto-ominaisuuksiin on syytä kiinnittää erityistä huomiota kiviaineksissa, jotka koostuvat pääosin alle 8 mm raekokolajitteista.

5 TULOSTEN TARKASTELU

Kuulamylykokeiden tulokset ja näytteiden mikroskooppinen analyysi ovat linjassa aikaisempien tutkimustulosten kanssa (Brattli 1992, Lundqvist & Göransson 2001, Åkesson ym. 2003, Miskovskyn ym. 2004, Räisänen 2004) joiden perusteella mineraalien kokojakauma ja tekstuuri vaikuttavat merkittävästi kiviainesten kulutuskestävyyteen. Tämä tulee erityisesti esille 4/8 mm testifraktiossa, jossa mikrokiteiset vulkaniitit osoittautuivat kuulamylytulosten perusteella selvästi pienikiteisiä graniitteja paremmiksi.



Kuva 2. Mineraalien välisiä rajapintoja (A) Kelkkamäen vulkaniitissa ja (B) Haukkavuoren graniitissa. Osaa rajapinnoista korostettu. Huomaa ero mineraalirajojen lukumäärässä ja rajapintojen tekstuurissa. Kuva-alojen sivujen pituudet ovat noin 1 mm.

Hienorakeisten kiviainesten kulutuskestävyyden kannalta on eduksi, että kivrakeiden pinta-alayksikköä kohti on mahdollisimman runsaasti sitovia kidepintoja, mikä toteutuu parhaiten mikrokiteisillä kivilajeilla etenkin, jos niillä lisäksi on kompleksisista mineraalirajoista koostuva rakenne. Tämän empiirisesti havaitun tosiasian teoreettista taustaa on tarkemmin selvittänyt esimerkiksi Brattli (1992), ja sitä havainnollistaa ohessa oleva tekstuurikuva Kelkkamäen vulkaniitista ja Haukkavuoren graniitista (kuva 2). Kivet ovat kemiallisesti sekä mineraalikoostumukseltaan (taulukko 1) hyvin samankaltaiset. Haukkavuoren graniitin litteysluku on 4/8 mm testifraktiossa pienempi kuin Kelkkamäen vulkaniitin (taulukko 3), mutta kuulamylykokeen perusteella Kelkkamäen vulkaniitin

kulutuskestävyys on näistä kahdesta selvästi parempi (taulukko 3). Tämä selittyy pääasiassa raekoko- ja tekstuuritekijöillä.

Geologisten ominaisuuksien vaikutus asfaltin kulutuskestävyyteen korostuu päällystekiviainesten koostuessa pääosin alle 8 mm raekokolajitteista, koska tällöin karkeat mekaanisesti kestävämmät kivirakeet eivät ole ottamassa kulutusta vastaan. Lisäksi, koska kiviainesten kulutuskestävyys ei muutu lineaarisesti lajitteiden raekoon myötä, karkearakeisista kiviaineksista valmistettujen asfalttipäällysteiden luja kivi ei välttämättä ole luja hienorakeisista kiviaineksista valmistetuissa hiljaisissa asfalteissa. Tässä tutkimuksessa saatujen alustavien tulosten lisäksi, olisi erittäin tärkeää selvittää hienorakeisten kiviaineslajitteiden laadun vaihtelu laajemmalla otoksella näytteitä, joihin lukeutuisi graniittien ja vulkaniittien lisäksi mm. gneissejä ja diabaaseja. Työ tulisi suorittaa tämän tutkimuksen tapaan laajalla geologisella menetelmävalikoimalla, sillä petrografinen analyysi (SFS-EN 932-3) ei yksin ole riittävä kuvaamaan kiviainesten kulutuskestävyyteen vaikuttava geologia tekijöitä.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

1. Kiviainesten geologisten ominaisuuksien vaikutus kulutuskestävyyteen tulee korostuneesti esiin hienorakeisilla (4/8 mm) kiviaineslajitteilla
2. Muoto-ominaisuuksiin on syytä kiinnittää erityistä huomiota valmistettaessa pääosin hienorakeisista (4/8 mm) kiviaineslajitteista koostuvia asfaltteja.
3. Pieni- ja mikrokiteiset vulkaniitit osoittautuivat 4/8 mm fraktiossa selvästi graniitteja paremmiksi mineraalien kokojakauman ja tekstuurin johdosta; hienorakeisista lajitteista (4/8 mm) valmistetuissa asfalteissa tulisi tämän työn perusteella suosia mikrokiteisiä vulkaniitteja.
4. Tulokset edustavat tässä työssä tutkittuja näytteitä; esimerkiksi Koskenkylän louhokselta, jossa kivilajivaihtelu on yleistä, saadaan myös huomattavasti kulutuskestävämpää kiviainesta

Viitteet

Brattli B., 1992. The influence of geological factors on the mechanical properties of basic igneous rocks used as road surface aggregates. *Engineering Geology* **33**, pp. 31–44.

Folkeson, L. 1992. Miljö- och hälsoeffekter av dubbdäcksanvändning. Litteraturöversikt. VTI meddelande 694, Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping, 36 p.

Kupiainen, K., Tervahattu, H., Räisänen, M., 2003a: Experimental studies about the impact of traction sand on urban road dust composition. –The Science of the Total Environment 308, 175-184.

Kurki, T., Manninen, M. ja Saarinen, L., 1992. Asfalttipäällysteen kulumisen Osa I. VTT Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio n:o 58, 68 s.

Lundqvist S., ja Göransson M.. 2001. Evaluation and interpretation of microscopic parameters vs. mechanical properties of Precambrian rocks from the Stockholm region, Sweden. In: *Proceeding of the 8th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials*, Athènes departement de géologie, Athens, pp. 13–20.

Miskovsky, K., Taborda Duarte M., Kou S. Q., ja Lindqvist P. -A., 2004. Influence of the mineralogical composition and textural properties on the quality of coarse aggregates. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 13(2), 144-150

PANK (Päällyste alan neuvottelukunta) 2007. Asfalttinormit 2007. ISBN 951-97197-9-2, 22 s.

Raitanen, N., 2005. Measuring of noise and wearing of quiet surfaces, doctoral disertation, TKK.

Räisänen, M., 2004. From outcrops to dust - mapping, testing, and quality assessment of aggregates. Academic dissertation. Publications of the department of geology of University of Helsinki, D 1, 80 s.

Räisänen, M., Kupiainen, K., ja Tervahattu, H., 2003: The effect of mineralogy, texture and mechanical properties of anti skid and asphalt aggregates on urban dust. – *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62, 359-368.

Räisänen M. ja Mertamo, M., 2004. An evaluation of the procedure and results of laboratory crushing in quality assessment of rock aggregate raw materials. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* **63**, pp. 33–39.

Saarela, A., 1992. The ASTO programme. Teoksessa: Aggregate 1992 and the Finnish symposium on rock mechanics 1992. Papers of the Finnish Society of Engineering Geology, Vol. 20, Espoo, 7 s

SFS EN-933-3. European Committee for Standardisation (CEN), 1997. Tests for General Properties of Aggregates: Part 3. Determination of Particle Shape. Flakiness index, Brussels. 7 pp.

SFS EN-1097-2. European Committee for Standardisation (CEN), 1998. Tests for mechanical and physical properties of aggregates. *Part 2: Methods for the Determination of Resistance to Fragmentation*, Brussels 22 pp.

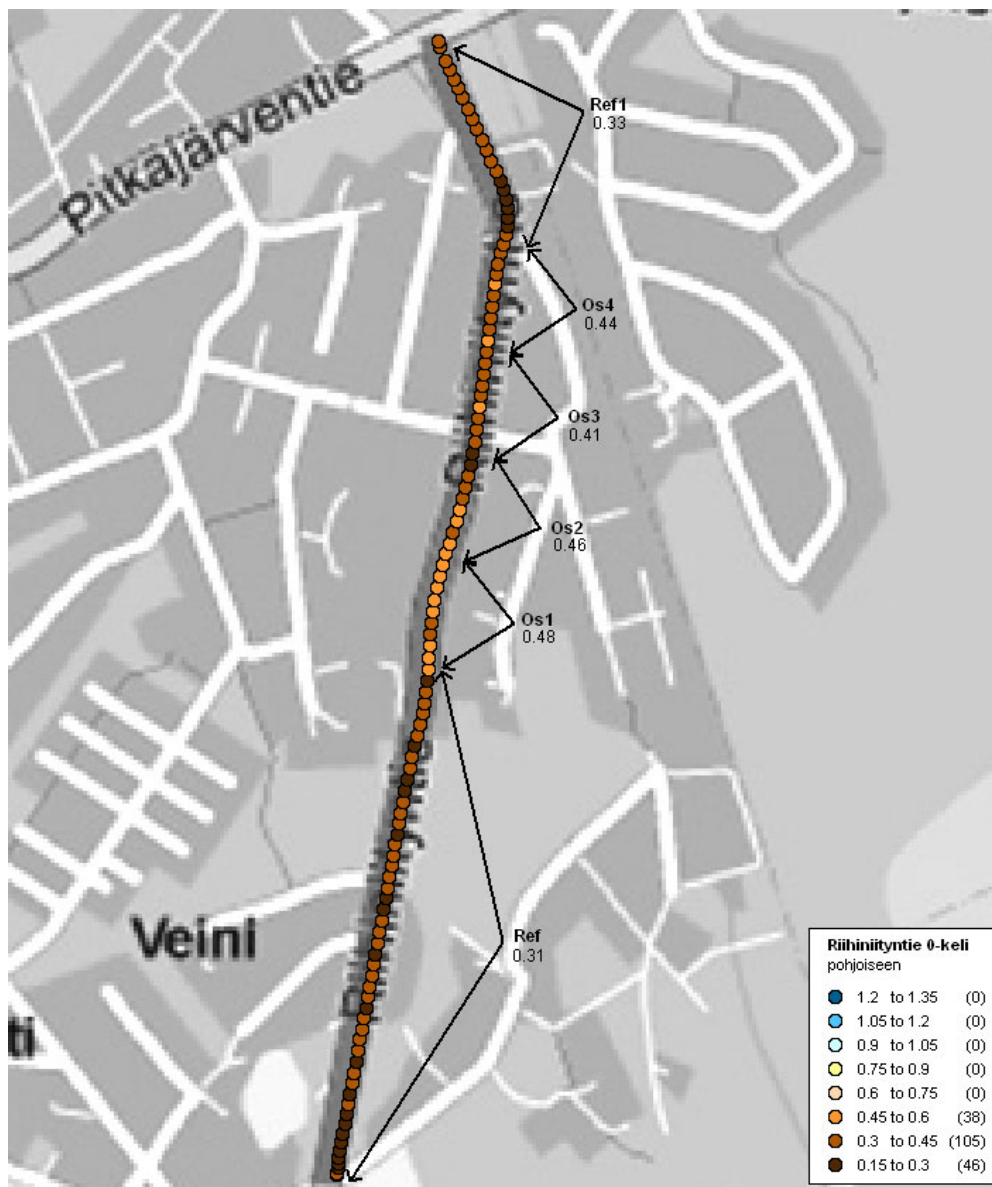
SFS EN-1097-9, European Committee for Standardisation (CEN), 1998. Tests for mechanical and physical properties of aggregates. *Part 9: Determination of the Resistance to Wear by Abrasion from Studded tyres*, Brussels 7 pp.

SFS EN 12697-16 A, Suomen standardoimisliitto SFS Ry, 2006. SFS-käsikirja 165, 2006. Asfalttimassat. Osa 2: Testausmenetelmät II Bituminous mixtures. Part 2: Test methods II. ISBN 952-5420-94-9, 537 s.

SFS EN 12697-16 B. Suomen standardoimisliitto SFS Ry, 2006. SFS-käsikirja 165, 2006. Asfalttimassat. Osa 2: Testausmenetelmät II Bituminous mixtures. Part 2: Test methods II. ISBN 952-5420-94-9, 537 s.

Åkesson, U., Stigh, J., Lindqvist, J. E., and Göransson, M., 2003. The influence of foliation on the fragility of granitic rocks, image analysis and quantitative microscopy. *Engineering Geology*, 68, 3-4, 275-288

Hiljaisten päällysteiden kitkaominaisuudet



Riihiniityntien viisi vuotta vanhojen hiljaisten päällysteiden (Os1-4) ja niiden vertailupäällysteiden kitka-arvoja (mitattu TWO-mittarilla).) 0°C-kelillä (28.2.2007). Os3 ja Os4 olivat myös rengasmelun ja kuluman tutkimuskohteina.

SISÄLLYSLUETTELO

1 Tehtävä ja toteutus	72
2 Tulokset	72
3 Johtopäätökset	74

1 Tehtävä ja toteutus

VIEME-projekti yhtenä tehtävänä oli tutkia tiepäällysteiden melua tavoitteena melutasojen alentaminen ja melulle altistumisen vähentäminen ilman, että liikenneturvallisuus heikkenee. Huoli liikenneturvallisuuden mahdollisesta heikkenemisestä hiljaisilla päällysteillä perustui siihen, että sellaisilla päällysteillä saattaisi olla huonompi kitkapito päällysteen tasaisemman pinnan vuoksi.

Päällysteiden kitkamittaukset toteutettiin Destia Oy:n toimesta ja niistä vastasi tuotepäällikkö Juha-Matti Vainio. Mittaukset tehtiin TWO-kitkanmittarilla. TWO koostuu kahdesta peräkkäisestä pyörästä muodostuvasta telistä. Laitetta hinataan auton perässä siten, että mittaus tapahtuu vasemmasta ajourasta. TWO:n toiminta perustuu ns. ”fixed slip”-menetelmään. Laitteen toinen pyörä pyörii vapaasti ja toinen 15% hitaammin. Hitaammin pyörivästä pyörästä mitataan tarvittava vastustava voima. Hyvällä pidolla tarvitaan suuri vastustava voima ja vastaavasti liukkaalla pieni voima. ”Fixed slip”-menetelmä on todettu hyväksi mitattaessa talvikeleillä. TWO antaa mittautuloksen 10 kertaa sekunnissa. Tässä työssä on käytetty dataa, joka on tallennettu TWO:lla 10 metrin välein.

Todettakoon, että tässä tutkimuksessa TWO-mittarilla tehtyjä kitka-arvoja ei voi suoraan verrata Asfalttinormien uusien päällysteiden laadun arvioinnissa käytettävällä PANK 5201-menetelmällä mitattuihin arvoihin.

Tutkimuskohteina olivat hiljaiset päällysteet ja niiden referenssit Pirkkolantiellä Helsingissä, Konalantiellä Helsingissä, Riihiniityntiellä Espoossa, Kolkekannaksentiellä Espoossa ja Klaukkalantiellä Nurmijärvellä. Kaikki tutkimuskohteet sisältävä mittauslenkki ajettiin yhden päivän aikana yhtäjaksoisesti.

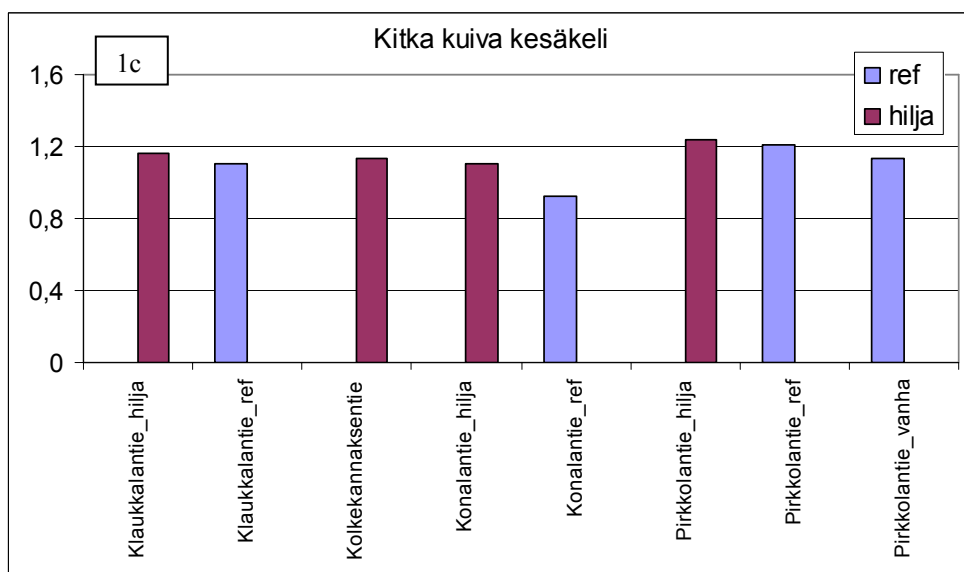
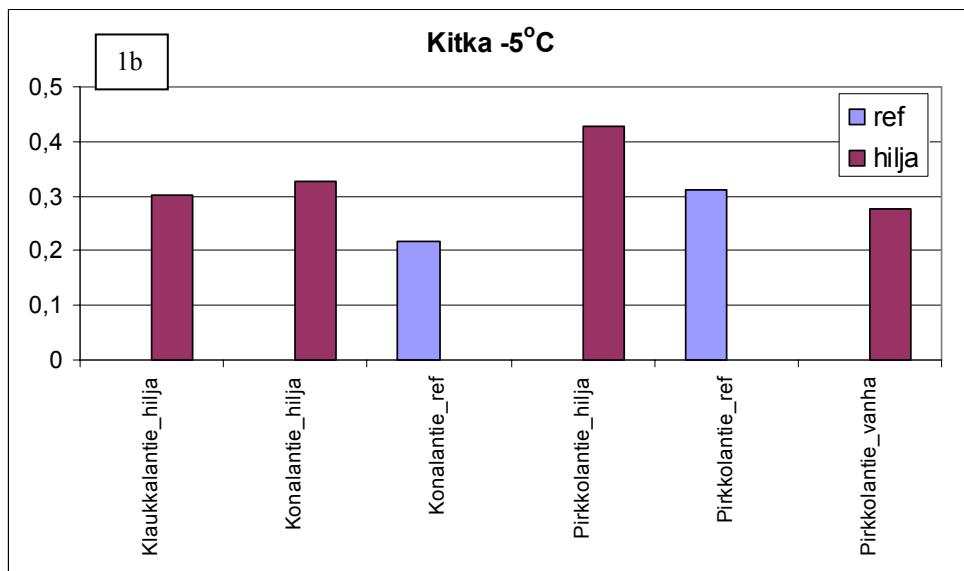
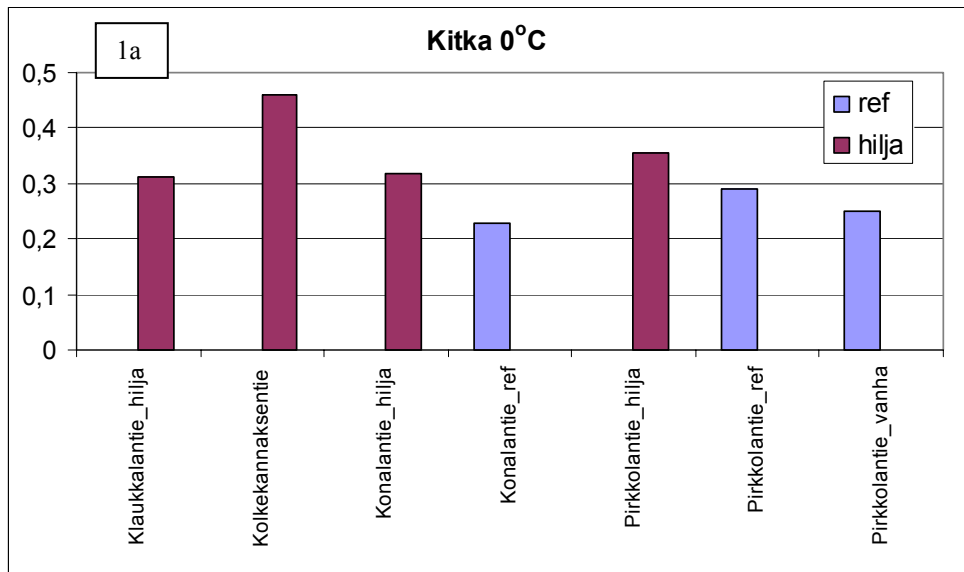
Mittaukset suunniteltiin tehtäväksi viitenä päivänä seuraavissa keliolosuhteissa:

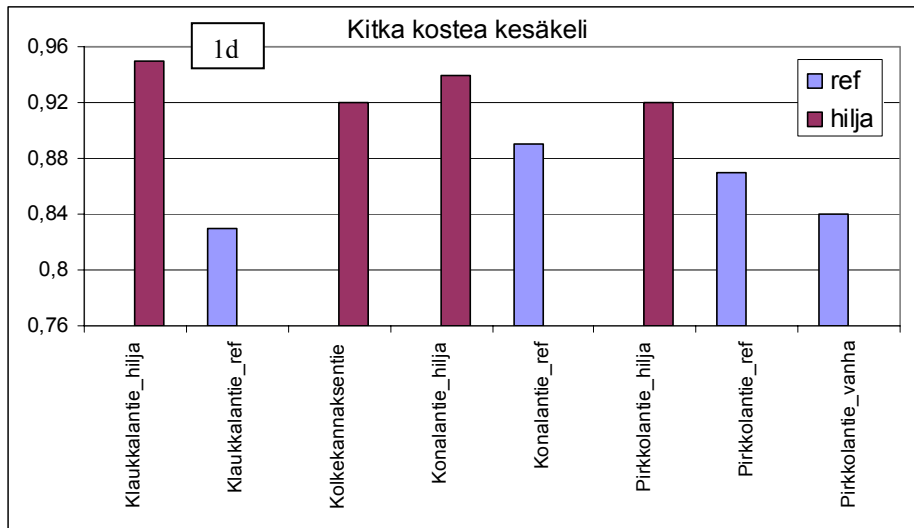
1. Talviset lumiolosuhteet noin 0 asteen lämpötilassa; tehtiin 28.2.2007, 0 °C.
2. Lumi-jää olosuhteet noin -3 - -5 asteen lämpötilassa; tehtiin 27.2.2007, -5 °C.
3. Talvinen pakkasliukkauskeli; ei voitu tehdä, sopivia sääoloja ei sattunut mittauskaudelle.
4. Kuivalla tien pinnalla nastarengaskauden loppuvaiheessa; tehtiin 27.3.2007.
5. Kosteaa tien pinta (sateeton keli) nastarengaskauden loppuvaiheessa; tehtiin 27.4.2007.

Tulosten käsittely ja analysointi tehtiin Nordic Envicon Oy:ssä (Ana Stojiljkovic ja Heikki Tervahattu) ja asiantuntijana toimi Panu Sainio TKK:sta.

2 Tulokset

Kuvissa 1a-d on esitetty kitkamittausten tulokset päällystekohtaisina keskiarvoina. Niistä nähdään, että kaikissa tapauksissa hiljaisen päällysteen kitka-arvo on ollut korkeampi kuin vertailupäällysteen. Tarkasteltaessa tuloksia tiehallinnon liukkaustuokituksen valossa (0-0,14 erittäin liukas, 0,15-0,19 liukas, 0,20-0,24 tyydyttävä talvikeli, 0,25-0,29 hyvä talvikeli, 0,30- pitävä talvikeli) nähdään, että talviolosuhteissa hiljainen päällyste on ollut 1-2 luokkaa parempi kuin referenssi. Kesäkelillä hiljaisten päällysteiden kitka-arvot olivat myös korkeammat kuin vertailupäällysteillä. Kostealla tien pinnalla kitka oli alhaisempi kuin kuivalla molemmilla päällystetyypeillä.





Kuva 1a-d. Hiljaisten ja vertailupäällysteiden kitka-arvojen keskiarvot talvisissa lumiolosuhteissa 0°C:ssa (1a), lumi- ja jääolosuhteissa -5°C:ssa (1b), kuivalla kesäkelillä (1c) ja kostealla kesäkelillä (1d).

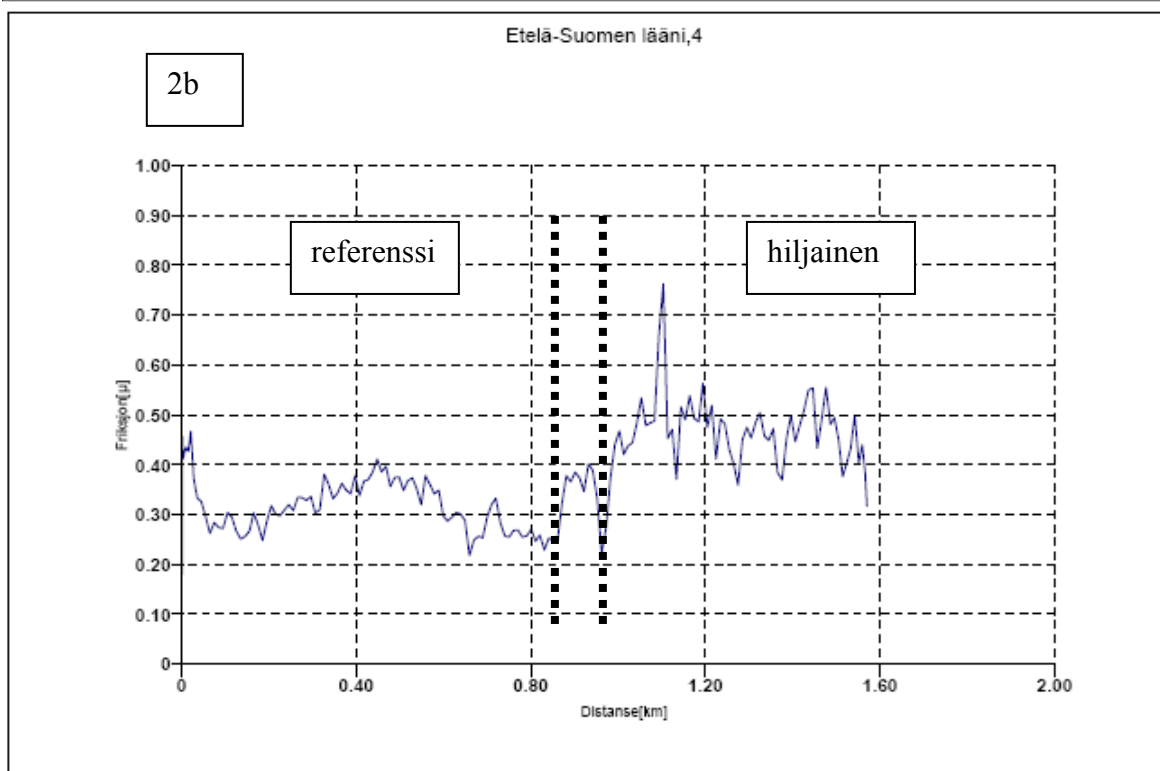
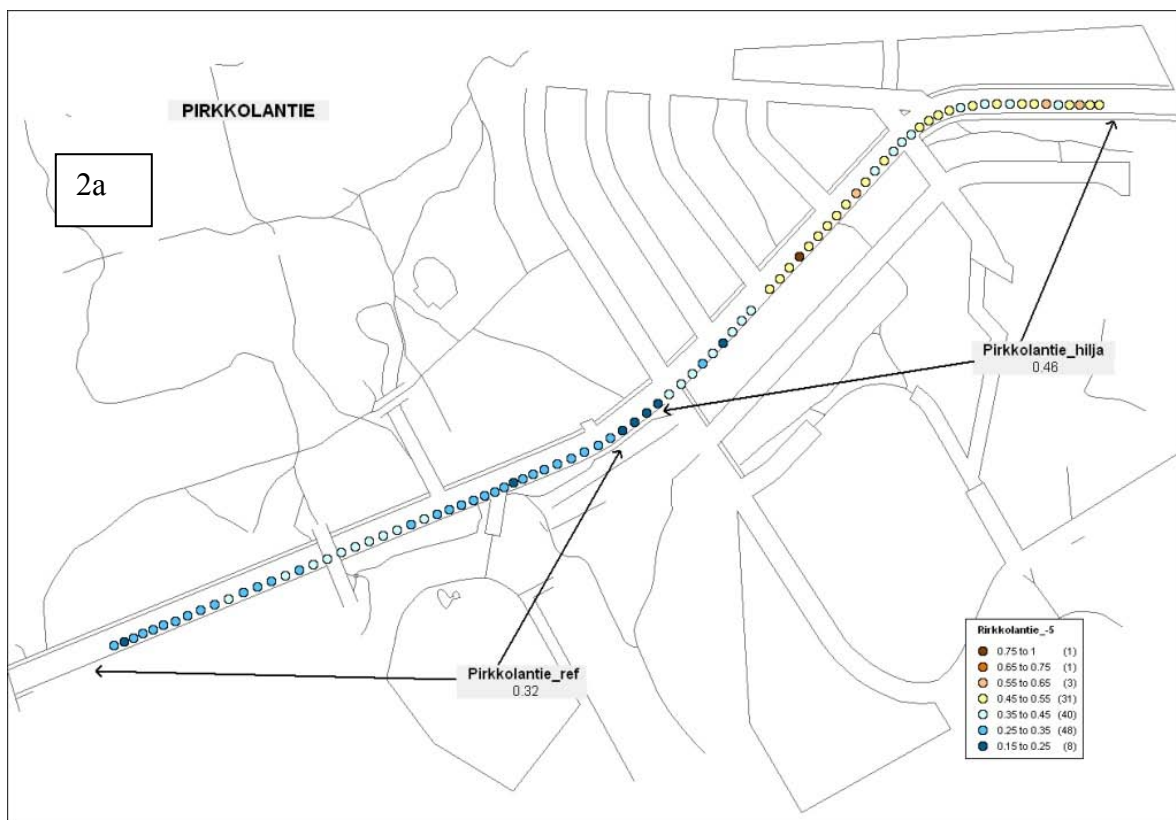
Hiljaisten päällysteiden parempi kitkapito johtuu ilmeisesti siitä, että niiden tasaisemman pinnan vuoksi myös renkaalla on enemmän kosketuspintaa ja sen myötä pitoa kuin karkeampipintaisilla tavallisilla päällysteillä. Sileämmällä päällysteellä renkaalla on paremmat toimintaedellytykset, sillä suomalaisen päällysteen karkea pinta saattaa johtaa paikallisiin pintapaine maksimeihin ja heikentää/ pienentää renkaan kontaktia tiehen.

Kuvissa 2-4 (ja kansikuvassa) esitetään vielä erillisiä mittaustuloksia. Niistä näkyy, että hiljaisilla päällysteillä kitka-arvot ovat vaihdelleet selvästi enemmän kuin vertailupäällysteillä. Tämän syytä ei tunneta.

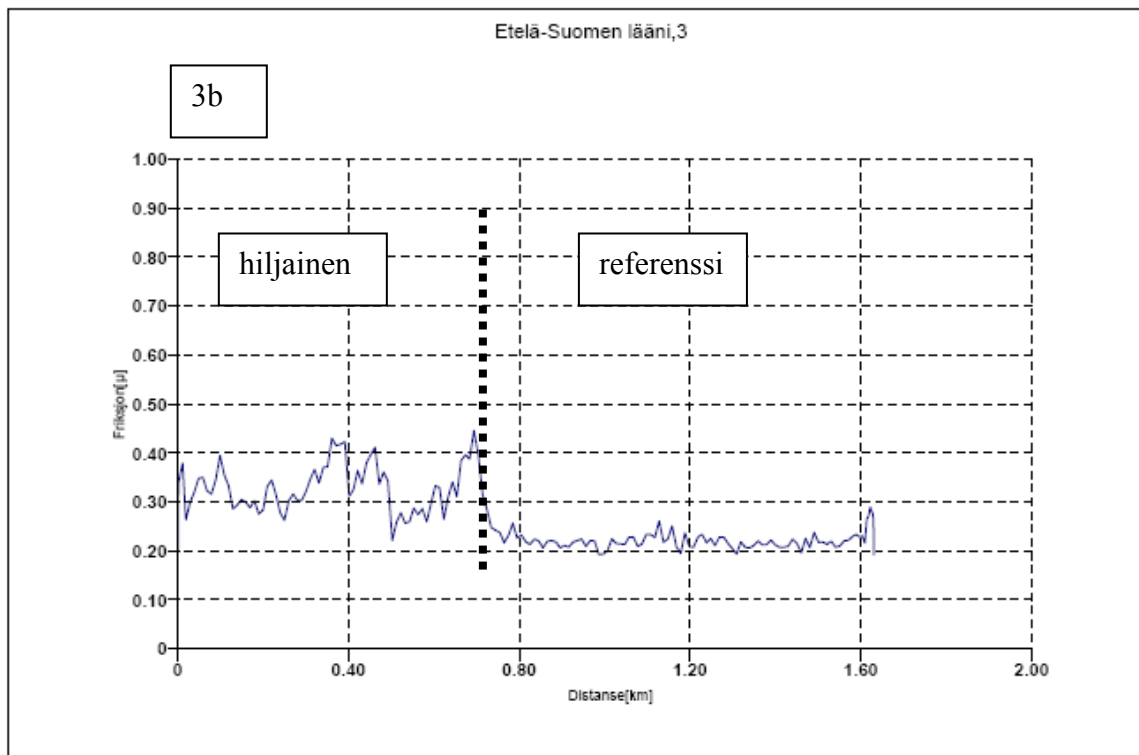
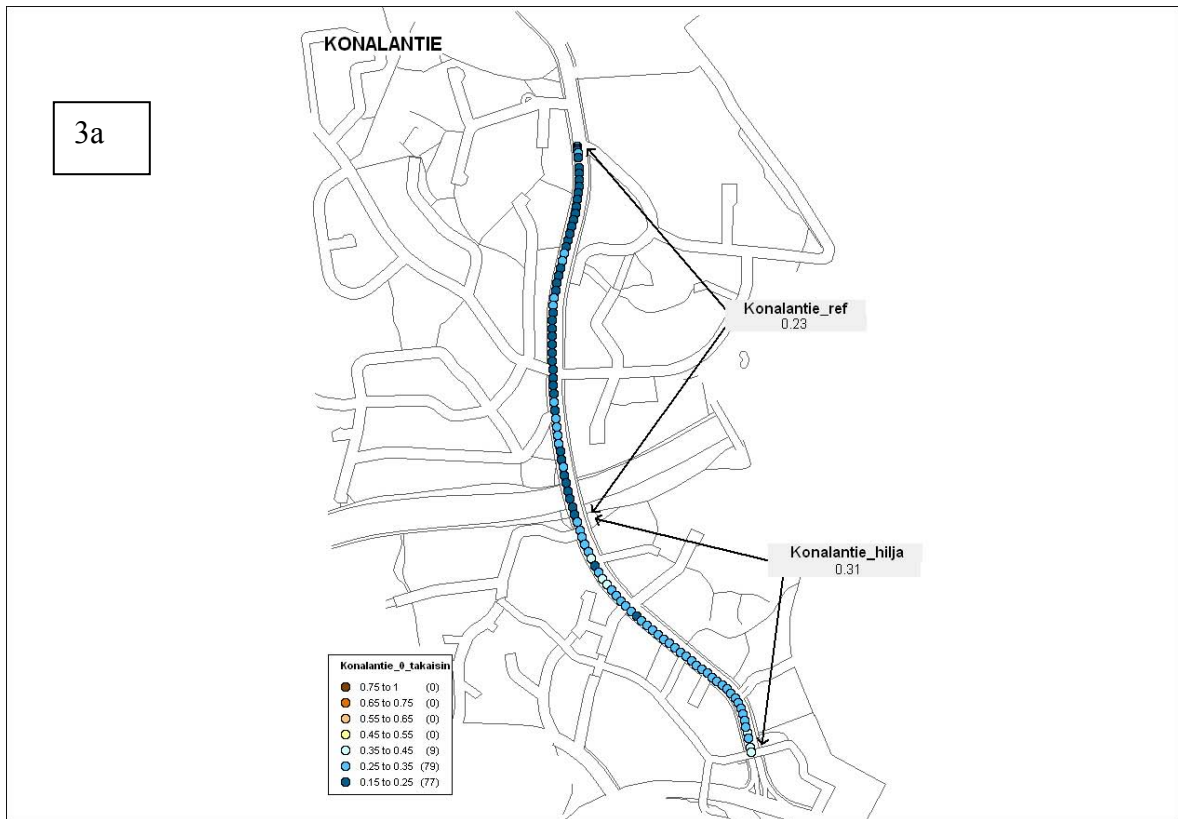
Riihiniityntiellä oli mahdollista tutkia kitkapitoa viisi vuotta vanhalla HILJA-projektin koekadulla, jolla oli useita hiljaisia päällysteitä. Niiden kaikkien kitka-arvot olivat alhaisemmat kuin vertailuna käytettyjen tavallisten päällysteiden (taulukko 1 ja kansikuva). Hiljaisten päällysteiden kitkapito oli siis säilynyt hyvin, vaikka muutamat niistä olivat jo varsin kuluneita.

3 Johtopäätökset

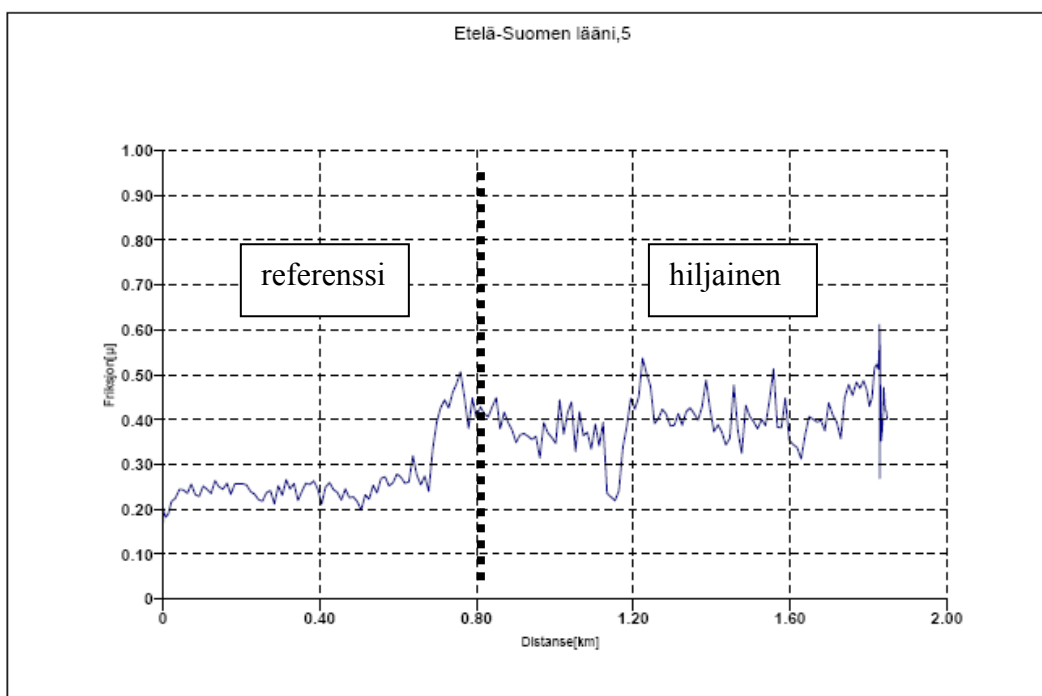
1. Hiljainen päällyste tarjoaa kaikissa normaali olosuhteissa paremman kitkan kuin perinteinen päällyste.
2. Hiljaisen päällysteen tarjoama turvallisuuslisä korostuu huonossa kelissä tarjoten jopa viidenneksen enemmän kitkaa eli 20 % lyhyemmän pysähtymismatkan.
3. Tutkimustuloksia on kuitenkin toistaiseksi vain vähän, joten tarvitaan runsaasti lisämittauksia erilaisissa talviolosuhteissa, mm. mustan jään tilanteissa.



Kuva 2a-b. Kitkamittaukset Pirkkolantiella 27.2.2007 lumi- ja jääolosuhteissa - 5°C:ssa yksittäisinä mittauspisteinä (2a; keskiarvo hiljaisella päällysteellä 0,48 ja referenssillä 0,32) ja tulokäyränä (2b).



Kuva 3a-b. Kitkamittaukset Konalantiellä 28.2.2007 lumiolosuhteissa 0°C:ssa yksittäisinä mittauspisteinä (3a; keskiarvo hiljaisella päällysteellä 0,31 ja referenssillä 0,23) ja tulospäyränä (3b). Hiljaisella päällysteellä pitävä talvikeli, referenssillä tyydyttävä talvikeli.



Kuva 4. Kitkamittaukset Klaukkalantiellä 28.2.2007 lumiolosuhteissa 0°C:ssa.

Taulukko 1. Riihiniityntien viisi vuotta vanhojen hiljaisten päällysteiden (os1-8) ja niiden vertailupäällysteiden kitka-arvoja 0°C-kelillä (28.2.2007) ja -5°C-kelillä (278.2.2007). Koeosuuksien (os 1-8 pituudet 150 m, referenssit 320 m).

	0	-5	keskiarvo
os1	0,48	0,39	0,43
os2	0,46	0,40	0,43
os3	0,41	0,35	0,38
os4	0,44	0,37	0,40
ref1	0,33	0,30	0,32
ref	0,31	0,30	0,31
os5	0,40	0,30	0,35
os6	0,33	0,29	0,31
os7	0,41	0,35	0,38
os8	0,45	0,37	0,41
ref2	0,27	0,26	0,27
ref	0,28	0,31	0,30

MELUESTEIDEN VAIKUTUS PÖLYN LEVIÄMISEEN



Asesepäntien meluaia ja Vaskisepäntien mittauspisteet Metsälässä.

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	80
2 Pölyn leviämisen mittaaminen	80
2.1 Mittausmenetelmä	80
2.2 Mittaustulokset	81
2.3 Johtopäätökset	81
3 Pölyn leviämislaskelmat	82
3.1 Leviämismallitus	82
3.2 Mallin syöttötiedot	83
3.3 Mallituksen tulokset	83
4 Johtopäätökset	86
Viitteet	86

1 JOHDANTO

VIEME-projektissa tutkitaan melun ja pölyn muodostusta ja leviämistä samanaikaisesti sekä näiden kahden ongelman keskinäissuhdetta ja niiden muodostamaa kokonaisuutta. Meluntorjunnan vaihtoehtoista tutkimuskohteina ovat myös melusteet ja sen selvittäminen, saadaanko melusteilla hyötyä myös pölyn leviämisen kannalta.

Liikenteen pakokaasuperäisten hiukkaspäästöjen leviämistä tien läheisyyteen tuulen suuntaan on tutkittu mm. USA:ssa (Zhu et al., 2002), Australiassa (Morawska et al., 1999; Hitchins et al., 2000), Englannissa (Shi et al., 2001) ja Suomessa (Pirjola et al., 2006). Tutkimuksissa on mitattu alle 1 mikrometrin kokoisten hiukkasten lukumääräpitoisuutta ja kokojakaumaa alle 300 m etäisyydellä tiestä. Tiitta et al. (2002) on mitannut ja mallittanut liikenteen pienhiukkasten ($PM_{2.5}$) massapitoisuuden leviämistä n. 90 m etäisyydelle tiestä. Melusteiden vaikutuksesta hiukkaspäästöjen leviämiseen ei kovin monia viitteitä löydy. Bowker et al. (2007) on mitannut ja mallittanut pakokaasuperäisten ultrapienien hiukkasten leviämistä melusteen yli ja muutamissa konferenssiabstrakteissa tutkitaan kaasumaisten pakokaasujen (CO , NO , NO_2) leviämistä meluidan yli. Katupölyn (PM_{10}) leviämistä ja varsinkin melusteen yli ei tietääksemme ole aikaisemmin tutkittu.

Tässä luvussa on kaksi osaa, joissa tutkitaan katupölyn leviämistä melusteen yli. Ensimmäisessä osassa esitetään pioneerimittaukset, tulokset ja johtopäätökset. Toisessa osassa esitetään Fluent-virtauslaskentaohjelmistolla saatuja mallitustuloksia ja niistä tehtäviä johtopäätöksiä.

2 PÖLYN LEVIÄMISEN MITTAAMINEN

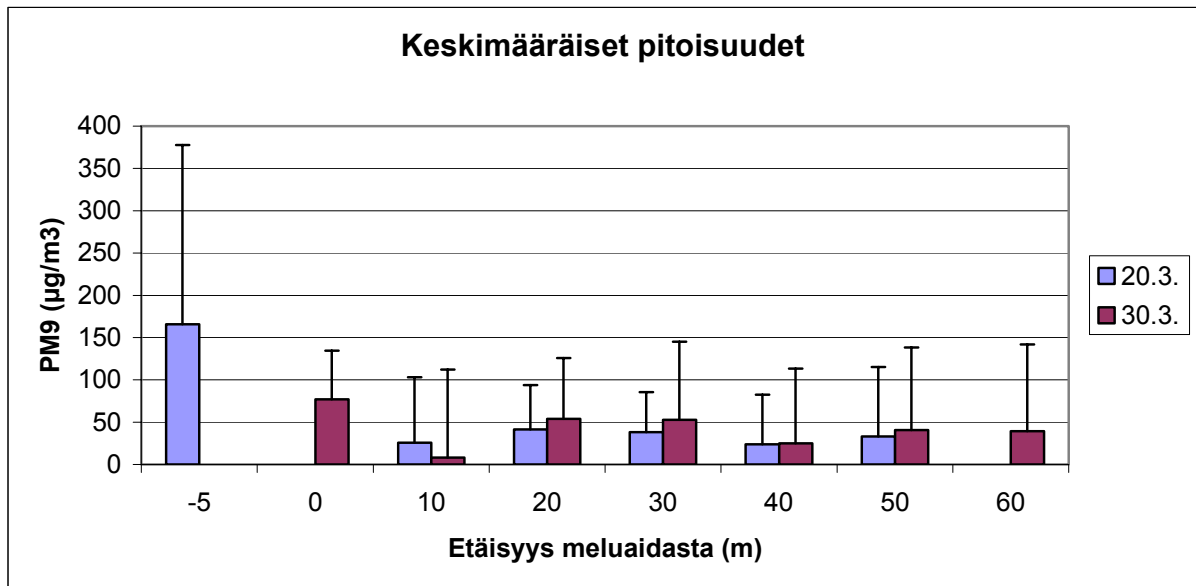
2.1 Mittausmenetelmä

Melusteen vaikutusta pölyn leviämiseen tutkittiin Asesepäntien pohjoispuolella Metsälässä Helsingissä, jossa on itä-länsisuuntainen meluaita. Asesepäntie on kaksisuuntainen 12.4 m leveä katu. Siinä on paljon raskasta liikennettä varsinkin ruuhka-aikaan (~1320 autoa tunnissa). Liikennevalot n. 200 m päässä mittauskohteesta itään pätkivät liikennettä. Tien pohjoispuolella on pientaloasutusta. Puinen meluaita Vaskisepäntien kohdalla on 2.6 m korkea, 20 cm leveä ja 200 m pitkä (kansikuva). Se sijaitsee 2 m etäisyydellä tien reunasta ja sen sekä Vaskisepäntien välissä on jalkakäytävä. Vaskisepäntieltä ei autoilla ole siis pääsyä Asesepäntielle.

Mittaukset tehtiin vuonna 2007 Nuuskijalla 20.3., 30.3., 10.4. ja 19.4. iltapäiväruuhkan aikaan Vaskisepäntiellä siten, että Nuuskija seiso i paikallaan 10 metrin välein 10 - 60 m etäisyydellä meluidasta. Kussakin pisteessä Nuuskija mittasi 10 minuutin ajan PM_{10} -pitoisuutta TEOM:illa (mikropunnitusanalysaattori) tuulilasin yläpuolelta 2.4 m korkeudelta sekä tuulitiedot Nuuskijan katolta 2.9 m korkeudelta. Samalla tavalla mitattiin PM_{10} -pitoisuus paikallaan Asesepäntien reunassa sekä lisäksi katupölyn PM_{10} -pitoisuus Nuuskijan vasemman takapyörän takaa Asesepäntiellä ajaen.

2.2 Mittaustulokset

Kuvassa 1 on esitetty kahden päivän keskimääräiset mittaustulokset. 20.3. tuuli puhalsi etelästä ja sen nopeus oli n. 2 m/s, kun taas 30.3. vaihtelevan kaakkoistuulen nopeus oli 3 m/s. Pylväs x-akselin kohdassa -5 m kuvaa PM₁₀-pitoisuutta tiellä Nuuskijan tuulilasin korkeudella.



Kuva 1. Keskimääräiset PM₁₀-pitoisuudet (µg/m³) keskihajontoineen meluaidasta mitatun etäisyyden funktiona kahtena mittauspäivänä. Vasemmanpuoleisin pylväs: meluaidan Asesepäntien puoleista pitoisuutta ajotiellä (-5 m). Näytteet on kerätty 2.4 m korkeudelta maasta, tuulilasin yläpuolelta.

Koska kevään 2007 katupölykausi alkoi varsin aikaisin ja suotuisten sääolosuhteiden vallitessa puhdistustoimenpiteet pääsivät ripeästi käyntiin, kadut olivat jo suhteellisen puhtaita huhtikuun alkuun mennessä. Näin ollen huhtikuussa tehty leviämismittaukset eivät antaneet lisäinformaatiota. Kun PM₁₀-pitoisuus on alhainen, 10 minuutin mittausaika TEOM:lla osoittautui liian lyhyeksi. Toisaalta pitempi aika (0.5-1 h) kussakin mittauspisteessä pidentäisi koko mittauksen kestoa, jolloin sitä ei saada tehtyä kahden ruuhkatunnin aikana. Tämä taas olisi välttämätöntä liikennetiheyden homogeenisuuden takia. On muistettava, että mittauksia eri mittauspisteissä ei voida toteuttaa samanaikaisesti.

2.3 Johtopäätökset

Alustavat mittaustulokset antavat viitteitä siitä, että katupöly kulkeutuisi meluvallin nostattamana n. 20-30 m päähän vallista. Samalla pitoisuudet olisivat laimentuneet noin kolmanteen tai neljanteen osaan siitä, mitä ne olivat tiellä samalla korkeudella ja kahteen kolmannekseen siitä, mitä ne olivat meluaidan toisella puolella. Näin ollen meluaita suojaa jalkakäytävällä kulkijoita katupölyltä. Jatkotutkimuksissa kannattaa mittauksia tehdä myös lähempänä meluaitaa esim. 3 m ja 6 m etäisyyksillä.

Lisäksi on huomattava, että pitoisuuksilla on suuri hajonta, joten luotettavien johtopäätösten tekemiseksi tarvittaisiin enemmän toistomittauksia. Niitä pitäisi suorittaa myös erilaisilla meluaidoilla, koska meluaidan rakenteella ja sijainnilla sekä

meteorologisilla parametreilla on suuri vaikutus tuloksiin. Mittaukset on tehtävä ennen katujen puhdistusta, jolloin pölypitoisuudet ovat suuria. Koska eri etäisyyksillä tehdyt mittaukset eivät ole samanaikaisia, liikennetiheyden pitäisi pysyä mahdollisimman homogeenisena koko mittaussetin ajan.

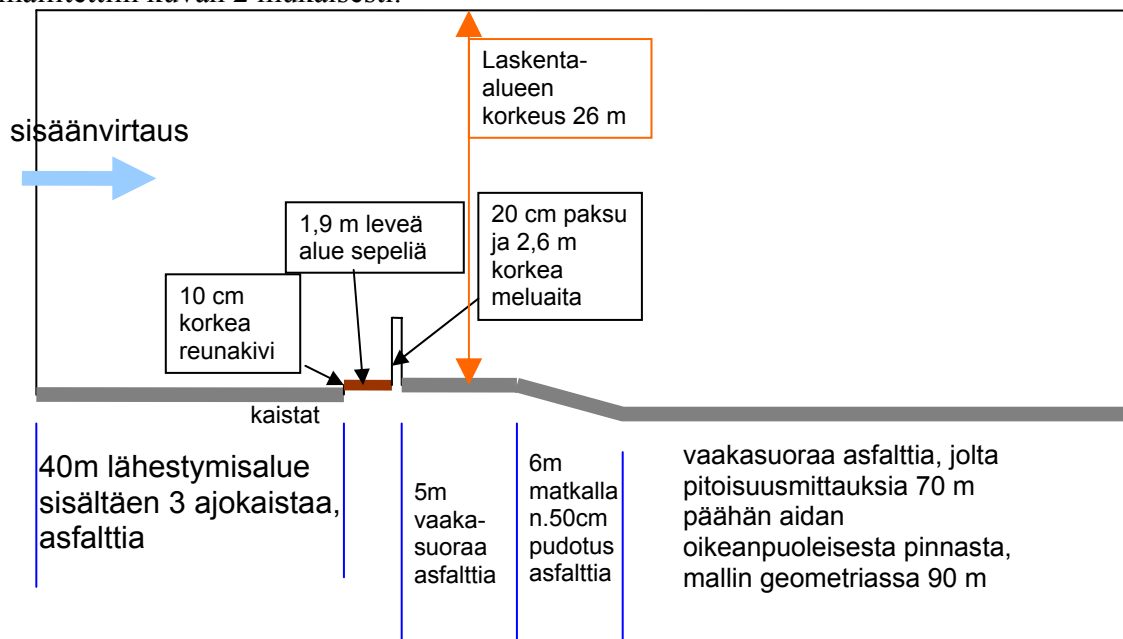
3 PÖLYN LEVIÄMISLASKELMAT

Pölyn leviämismallituksen tavoitteena oli tutkia meluidan vaikutusta pölyn leviämiseen. Mallilaskelmilla voidaan täydentää mittauksiin perustunutta pölyn leviämisen tutkimusta.

Pölyn leviämismittauksia tehtiin kevään 2007 aikana neljänä päivänä Metsälän Vaskisepäntiellä. Näistä kahdessa tapauksessa pitoisuudet olivat liian alhaisia mitattaviksi. Jäljelle jääneistä kahdesta tapauksesta (20.3. ja 30.3. tehdyt mittaukset) todettiin lisäksi, että 30.3. tuulensuunta oli kääntynyt itään jo mittausten alkuvaiheessa, joten mittausten antamat pölypitoisuudet eivät edusta mittaustilan eteläpuolella sijaitsevan Asesepäntien liikenteen päästöjen leviämistä. Mallitettavaksi tapaukseksi valittiin täten 20.3. tehtyjä mittauksia vastaava tilanne, jossa ainakin suurimmaksi osaksi vallitsi etelätuuli.

3.1 Leviämismallitus

Leviämismallitukseen käytettiin Fluent-virtauslaskentaohjelmistoa (www.fluent.com). Fluentin 2-dimensioisella versiolla laskettiin leviäminen meluesteellä ja ilman. Lisäksi testattiin meluesteen korkeuden vaikutusta laskemalla leviäminen todellista, mittaustilanteella ollutta meluestettä korkeammalla esteellä. Laskentatilanteessa oletettiin meteorologisen tilanteen ja päästön pysyvän vakiona, mutta laskelmat tehtiin useammalla lähtötilanteella vaihtelemalla tuulen ja turbulenssin arvoja. Lisäksi oletettiin leviävän aineen pysyvän muuntumattomana laskennan aikana. Mittauspaikan geometria mallitettiin kuvan 2 mukaisesti.



Kuva 2. Mallin geometria.

3.2 Mallin syöttötiedot

Epäpuhtauksien leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia tietoja ovat tuulen suunta ja nopeus sekä ilmakehän stabiilius. Stabiilius kuvaa ilmavirtauksen pyörteisyyttä, joka vaikuttaa sekoittumiseen ja täten pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumisen aikana.

Koska mittauspaikalta ei ollut saatavissa kattavia meteorologisia mittauksia, käytettiin hyväksi myös Ilmatieteen laitoksen pääkaupunkiseudulla sijaitsevien mittausasemien tuloksia. Ilmakehän stabiiliuden arvioinnin lähtöaineistona käytettiin Kivenlahden mastomittauksista saatuja lämpötilaa ja tuulennopeutta eri mittauskorkeuksilta sekä mitattuja ilmanpaineita Testbed-verkkoon kuuluvilta asemilta Espoossa, Kirkkonummella ja Vihdissä.

Stabiiliuden perusteella voidaan valita sopivat tuuli- ja turbulenssiprofiilit. Tässä tapauksessa todettiin Kivenlahden mittauksen perusteella ilmakehän tilan olevan neutraali tai lähes neutraali, jolloin voidaan käyttää logaritmista tuuliprofiilia. Mallilaskelmissa käytetty tuulen nopeus perustui Vaskisepäntiellä tehtyihin mittauksiin.

3.3 Mallituksen tulokset

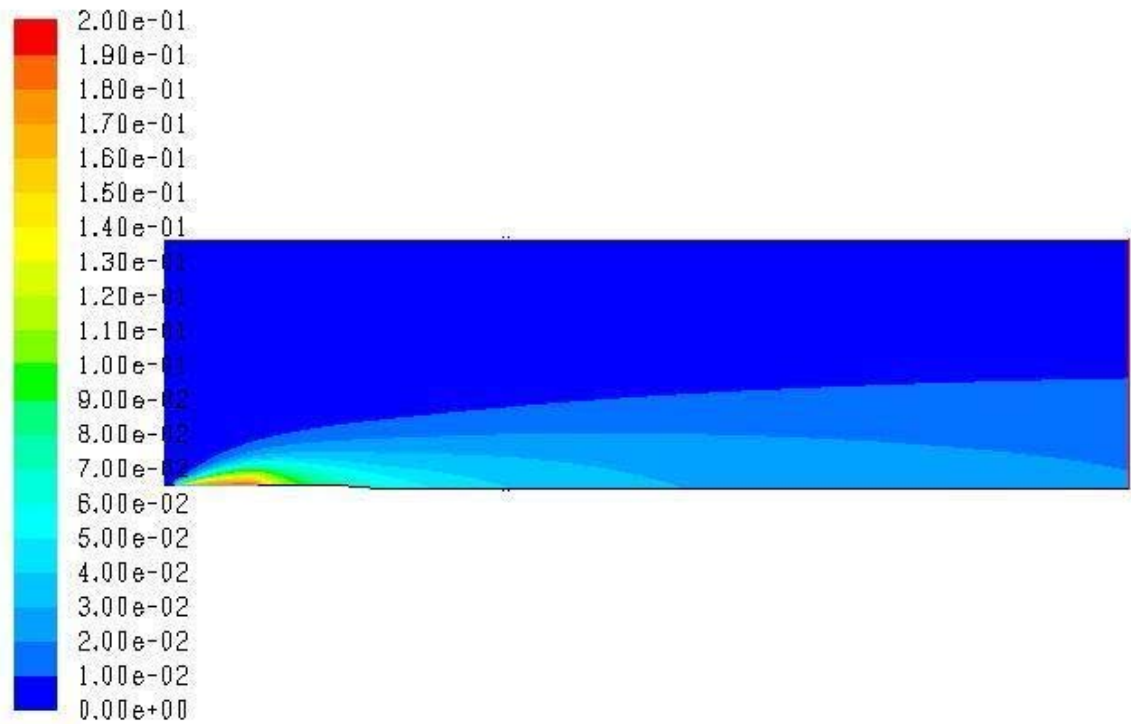
Mallilaskennan tuloksena saatu pitoisuusjakauma ilman meluaitaa ja meluaidan kanssa on esitetty kuvassa 3. Pitoisuudet on esitetty leviävän aineen massaosuuksina, sillä pakokaasupäästö on laskelmissa mallitettu kyseisen aineen ja ilman seoksena, jossa aineen massaosuus on päästöhetkellä 0,2. Jakaumista nähdään, että meluaidan takana sijaitsevalla alueella pitoisuudet ovat yleensä pienempiä kuin ilman meluaitaa, eli suurempi osa aineesta jää kadun puolelle.

Kuvassa 4 on esitetty pitoisuus meluaidan takana kahdella eri korkeudella, joista ylempi vastaa Nuuskijan mittauksia (2,4 m) ja alempi hengityskorkeutta (1,5 m). Lähellä aidan yläreunaa meluaita nostattaa ensimmäisten 10 metrin aikana pitoisuudet korkeammiksi kuin ilman meluaitaa lasketussa tapauksessa. Sen sijaan hengityskorkeudella pitoisuus on koko ajan pienempi kuin ilman meluaitaa, joten aidan voidaan todeta suojaavan välittömästi meluaidan takana sijaitsevalla kevyen liikenteen väylällä liikkuvia. Suojaava vaikutus riippuu aidan korkeudesta. Neljä metriä korkean aidan takana kevyen liikenteen väylällä vallitsevat pitoisuudet olisivat mallilaskelmien mukaan noin 75 – 80 % 2,6 metriä korkean aidan taakse saaduista pitoisuuksista, mutta kauempana aidan korkeuden vaikutus on vähäinen.

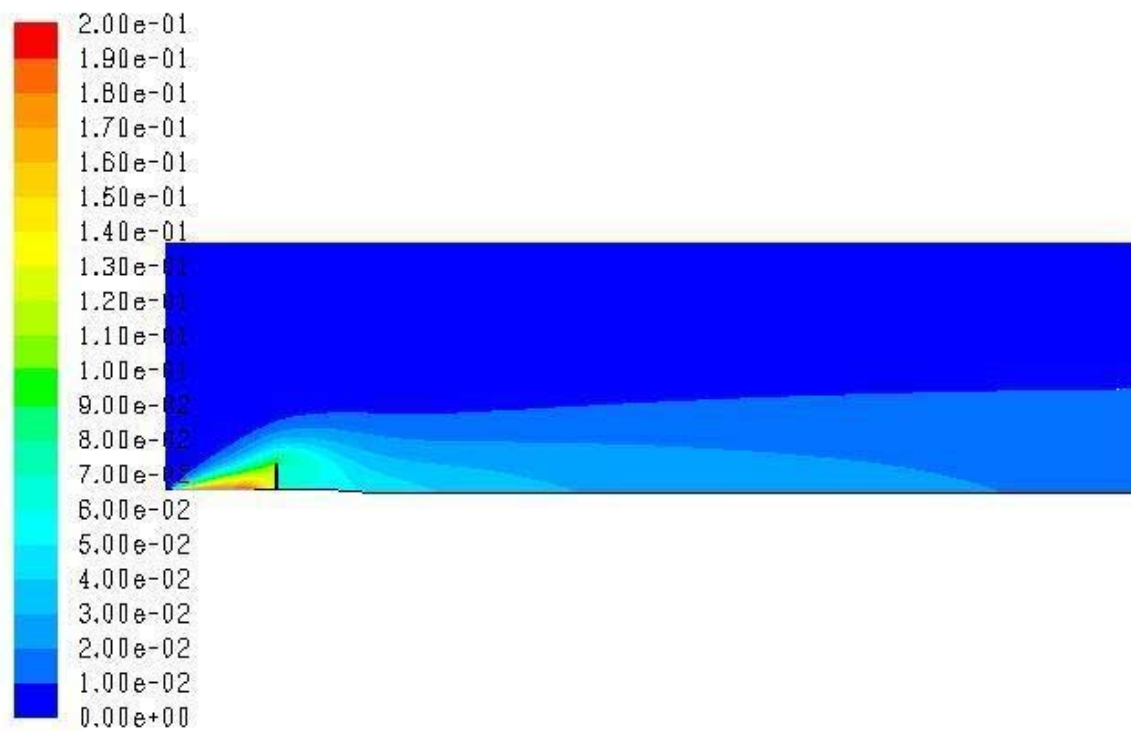
Tuulennopeus vaikuttaa leviämiseen siten, että pienemmällä tuulennopeudella laimeneminen on vähäisempää ja pitoisuudet korkeampia (kuva 5).

Mallilla lasketut pitoisuudet ovat laimentuneet 20 - 30 metrin etäisyydellä meluaidasta kuten mitatut pitoisuudet eli noin kolmasosaan siitä, mitä ne ovat tiellä vastaavalla korkeudella (kuva 6). Mallilaskelmilla ei kuitenkaan saada mittaustuloksia vastaavaa alhaista pitoisuutta 10 metrin etäisyydellä meluaidasta.

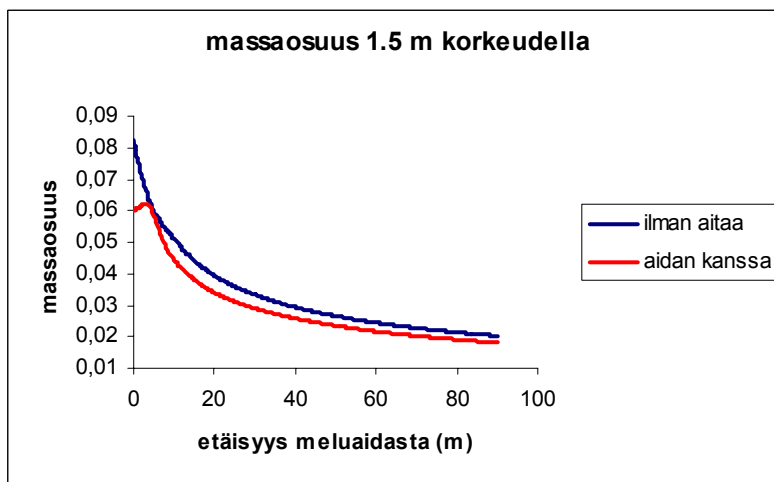
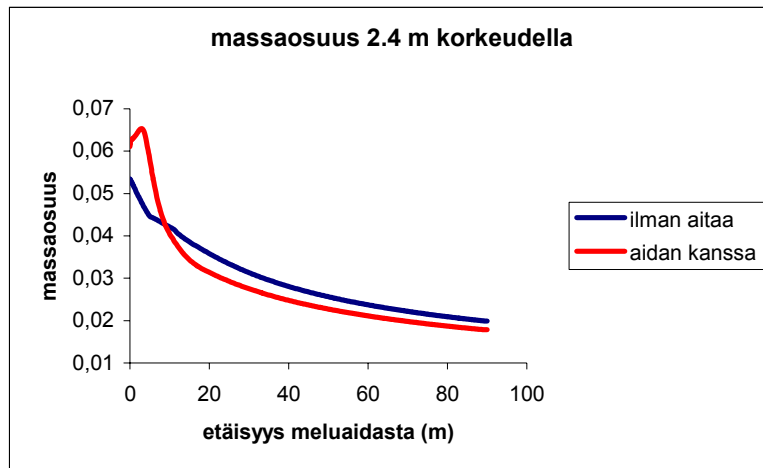
(a)



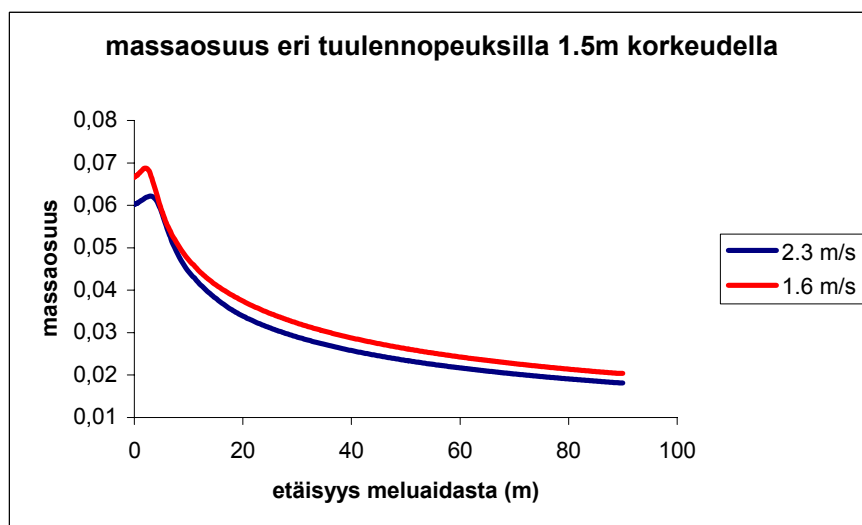
(b)



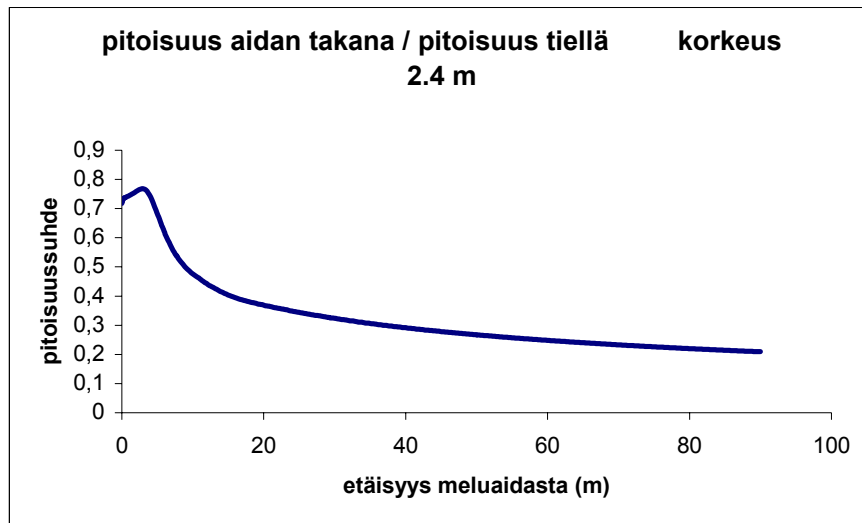
Kuva 3. Meluidan vaikutus pitoisuusjakaumaan. Jakauma ilman meluita (a) ja meluidan kanssa (b).



Kuva 4. Leviävän aineen massaosuus 2,4 ja 1,5 metrin korkeudella meluaidan takana.



Kuva 5. Tuulennopeuden vaikutus leviävän aineen massaosuuteen.



Kuva 6. Meluaidan takana lasketun pitoisuuden osuus tien päällä vallitsevasta pitoisuudesta.

Jatkotutkimuksissa on tarpeen tehdä enemmän meteorologisia mittauksia pölyn leviämismittausten yhteydessä, jotta saadaan luotettavammin todellisuutta vastaavat reuna-arvot laskentamallille. Lisäksi on muistettava, että tässä esitetyt tulokset perustuvat yhteen tilanteeseen. Tarkempi arvio meluaitojen ym. esteiden vaikutuksesta edellyttäisi kattavampia mittauksia useissa erilaisissa meteorologisissa tilanteissa.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Katupöly kulkeutui mittauksen mukaan meluvallin nostattamana n. 20-30 m päähän vallista. Samalla pitoisuudet laimentuivat noin kahteen kolmannekseen siitä, mitä ne olivat meluaidan toisella puolella. Meluaita näyttää suojaavan jalkakäytävällä kulkijoita katupölyltä, mutta tarvitaan runsaasti lisätutkimuksia luotettavien johtopäätösten tekemiseksi.

Pölyn leviämisen mallituksen tuloksena saatiin meluaidan takana sijaitsevalla alueella hengityskorkeudella pienempiä pitoisuuksia kuin ilman meluaitaa. Myös mallituksen perusteella aidan todettiin suojaavan välittömästi meluaidan takana sijaitsevalla kevyen liikenteen väylällä liikkuvia. Suojaava vaikutus kasvaa aidan korkeuden noustessa.

Viitteet

Bowker, G.E., Baldauf, R., Isakov, V., Khlystov, A. ja Petersen, W. (2007) The effects of roadside structures on the transport and dispersion of ultrafine particles from highways. Atmos. Environ. 41, 8128-8139.

Hitchins, J., Morawska, L., Wolff, R. ja Gilbert, D. (2000) Concentrations of submicrometre particles from vehicle emission near a major road, Atmos. Environ, 34, 51-59.

Morawska, L., Thomas, S., Gilbert, D., Greenaway, D. ja Rijnders, E. (1999) A study of the horizontal and vertical profile of submicrometer particles in relation to a busy road. Atmos. Environ. 33, 1261-1274.

Pirjola, L., P. Paasonen, D. Pfeiffer, T. Hussein, K. Hämeri ja T. Koskentalo, A. Virtanen, T. Rönkkö, J. Keskinen, T.A. Pakkanen and R.E. Hillamo (2006) Dispersion of particles and trace gases nearby a city highway: mobile laboratory measurements in Finland. *Atmos. Environ.* 40, 867-879.

Shi, J.P., Evans, D.E., Khan, A.A. ja Harrison, R.M. (2001) Experimental investigation of ultra-fine particle size distribution near a busy road. *Atmos. Environ.* 35, 1193-1202.

Tiitta, P., Raunemaa, T., Tissari, J., Yli-Tuomi, T., Leskinen, A., Kukkonen, J., Härkönen, J. ja Karppinen, A. (2002) Measurements and modelling of PM_{2.5} concentrations near a major road in Kuopio, Finland. *Atmos. Environ.* 36, 4057-4068.

Zhu, Y., Hinds, W.C., Kim, S., Shen, S. ja Sioutas, C. (2002) Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic. *Atmos. Environ.* 36, 4323-4335.